کتابهای
موضوعی
فیزیک

نورشناسی هندسی

محمدعلی پزشپور
اسفندیار معتمدی

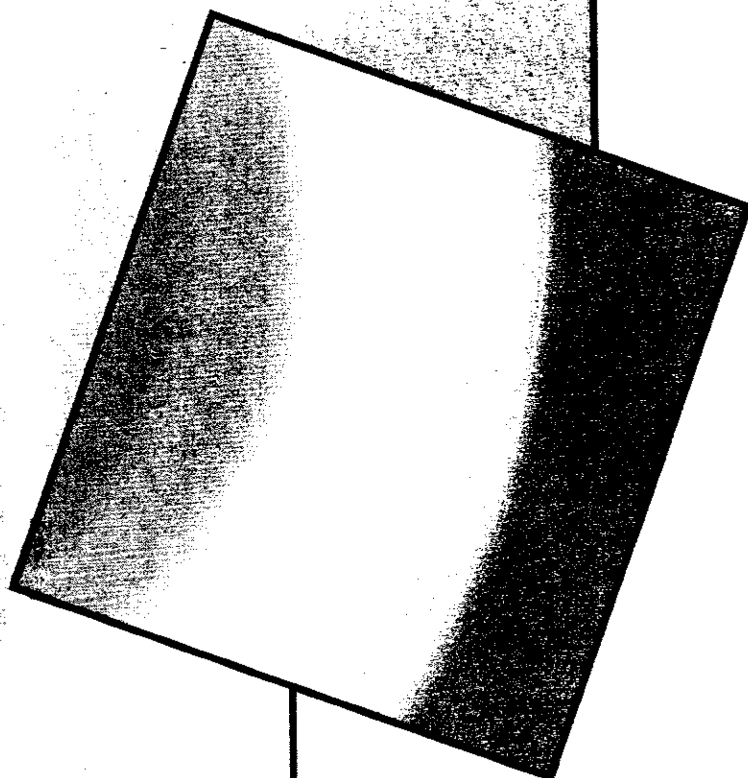


انتشارات فاطمی

کتابهای
موضوعی
فیزیک

نورشناسی هندسی

محمدعلی پزشپور
اسفندیار معتمدی





انتشـــارات علمی کالج
سنندج خ پاسداران مجتمع
تجاری کردستان طبقه همکف واحد ۱۶۱ و ۱۶۲
تلفن: ۳۲۲۳۷۲۳۷-۰۸۶-۳۲۲۹۱ فاکس: ۳۲۲۳۵۷۹۶

کتابهای موضوعی فیزیک

نورشناسی هندسی

مؤلفان: محمدعلی پزشپور، اسفندیار معتمدی
ویراستار: ناصر مقبلی
ناشر: مؤسسهٔ فرهنگی فاطمی
چاپ سوم، ۱۳۸۴
شابک ۱_۳۴۹_۳۱۸_۹۶۴
ISBN 964-318-349-1
تیراژ: ۵۰۰۰ نسخه

آماده‌سازی پیش از چاپ: واحد تولید مؤسسهٔ فرهنگی فاطمی
- مدیر تولید: فرید مصلحی
- طراح جلد: زهرا قورچیان
- حروفچینی و صفحه‌بندی (TEX-پارسی): زهره امینی
- رسام و صفحه‌آرا: فاطمه ثقفی
- نظارت بر چاپ: علی محمدپور

چاپ و صحافی: چاپخانهٔ زلال

مؤسسهٔ فرهنگی فاطمی تهران، کدپستی ۱۴۱۴۶ - خیابان دکتر فاطمی، شمارهٔ ۱۵۹
تلفن: ۸۸۹۶۱۴۲۲ - ۸۸۹۶۴۷۷۰ نمابر: ۸۸۹۵۶۲۵۸
info@fatemi.ir

پزشپور، محمدعلی، ۱۳۰۷ -
نورشناسی هندسی/ مؤلفان محمدعلی پزشپور، اسفندیار معتمدی؛ ویراستار ناصر مقبلی.ـــ تهران: فاطمی، ۱۳۸۲.
هفت، ۱۷۲ ص.: مصور، جدول، نمودار. ـــ (کتابهای موضوعی فیزیک)
ISBN 964-318-349-1

فهرستنویسی بر اساس اطلاعات فیپا.
واژه‌نامه.
کتابنامه: ص. [۱۷۱].
نمایه.
چاپ سوم: ۱۳۸۴.
۱. نورشناسی هندسی. ۲. نورشناسی هندسی - - آزمایشها. ۳. نورشناسی - - مسائل، تمرینها و غیره (متوسطه).
۴. نورشناسی - - آزمایشها. الف. معتمدی، اسفندیار، ۱۳۱۷ـ . ب. عنوان.

۵۳۵/۳۲۰۷۶
QC۳۸۱/پ۴ن۹
کتابخانهٔ ملی ایران
م۸۲_۹۶۲۹

فهرست

به‌نام خدا

سخن ناشر

سالها پیش **مؤسسهٔ فرهنگی فاطمی** به‌منظور ارتقاء سطح علمی علاقه‌مندان به‌ویژه دانش‌آموزان دبیرستانها اقدام به انتشار مجموعه کتابهایی با عنوان **گنجینهٔ دانش** در زمینهٔ مباحث فیزیک، شیمی، و ریاضی کرد که با استقبال فراوان علاقه‌مندان روبه‌رو شد. اگر چه این مؤسسه در خلال این سالها مجدّانه در ترجمه و نشر بسیاری از کتابهای مهمِ درسیِ آموزشِ علوم در کشورهای پیشرفته کوشیده است ولی همواره در صدد بازنگری و روزآمد کردن کتابهای تألیفی در انطباق با نظام جدید آموزش و پرورش بوده است. اکنون این تلاش به انتشار مجموعه‌ای از **کتابهای تألیفی موضوعی** در مباحث فیزیک، شیمی، ریاضی و زیست‌شناسیِ دبیرستانی و پیشدانشگاهی انجامیده است. منظور از موضوعی بودنِ این کتابها این است که مطالب هر کتاب شامل مبحث خاصی از یک شاخهٔ علمی است.

تألیف این کتابها با همکاری مدرسان دانشگاهی و دبیرستانی و براساس نیاز و اظهار نظرهای دانش‌آموزان دبیرستانها به عمل آمده است. مؤلفان علاوه بر شرح مبسوط مطالب به بالا بردن سطح فهم علمی دانش‌آموزان و آماده‌سازی آنان برای توفیق در امتحانات و آزمونهای ورودی دانشگاهها و داوطلبان المپیادها نیز توجه داشته‌اند. به‌علاوه مطالب این کتابها در مواردی فراتر از سطح کتابهای درسی است و تمرینها و پرسشهای آن حاوی نکات جدیدی است که می‌تواند برای دبیران ارجمند نیز قابل استفاده باشد.

پیشگفتار مؤلفان

حواس پنجگانهٔ انسان دریچه‌هایی برای ورود آگاهیهاست. ما از راه حواس خود با جهان آشنا می‌شویم. دریافتهای حسی ما اساس اندیشه و ادراک ماست. در میان حواس پنجگانه (بینایی، شنوایی، بویایی، بساوایی و چشایی)، بینایی جایگاهی ممتاز دارد. ما از راه چشم و به کمک نور می‌توانیم به‌وجود اشیا پی‌ببریم و رنگ، فاصله و اندازهٔ آنها را تشخیص دهیم.

بدون نور جهان تاریک و ترسناک است، گیاهی نمی‌روید و جانوری نمی‌زید.

مطالعه دربارهٔ چشم و نور از زمانهای بسیار دور آغاز شده است. در یکی دو قرن اخیر به این نکته پی برده‌ایم که از طیف گستردهٔ موجهای الکترومغناطیسی فقط بخش کوچکی بر چشم ما مؤثر است و به‌طور طبیعی اجسامی را می‌توانیم ببینیم که از حدّ معینی کوچکتر یا دورتر نباشند. اما به مدد علم توانسته‌ایم بر این دو عامل محدودکننده، پیروز شویم به‌طوری که بخش عمده‌ای از موجها را به خدمت گرفته‌ایم. می‌توانیم با موجهای فروسرخ و رادیویی از یک‌طرف و موجهای فرابنفش، ایکس و گاما از سوی دیگر با جهان ارتباط بیابیم. میکروسکوپها راه دنیای اجسام خیلی کوچک را بر ما گشوده‌اند. با دوربینهای زمینی با اجسام دور روی زمین ارتباط می‌یابیم و دوربین نجومی ما را با جهانهای دور آشنا می‌کند.

کتابی که در دست دارید شامل مفاهیم مربوط به نور است که معمولاً در کتابهای فیزیک دبیرستان تدریس می‌شود. این کتاب شامل هفت فصل است که هر فصل آن در برگیرندهٔ چند بخش است. هر بخش با یک عدد دو رقمی معرفی می‌شود. رقم اول معرف شمارهٔ فصل و رقم دوم معرف شمارهٔ بخش در آن فصل است. در پایان هر فصل علاوه‌بر خلاصهٔ فصل، هدفهای آموزشی، پرسشها، تمرینها و پرسشهای چهارگزینه‌ای آمده است. پرسشها و مسائل کلی، پاسخها و فرهنگ اصطلاحات در پایان کتاب موجود است. امید است این کتاب مورد توجه خوانندگان محترم قرار گیرد و با اعلام نظرات سازنده راه کمال را بپیماید.

محمدعلی پزشپور

اسفندیار معتمدی

۱

کلیات دربارهٔ نور

۱ـ۱ تاریخچه

نور و پدیده‌های نوری ازگذشته‌های دور توجه انسان را جلب کرده است. انسانِ گذشته هر بامداد با روشنایی روزکار خود را شروع می‌کرد و با تاریک شدن هوا به استراحت می‌پرداخت. پس از آگاهی از آنکه خورشید مایهٔ روشنایی و گرمی زندگی است به عظمت آن پی‌برد و به پرستش آن پرداخت. آتش را که نشانه‌ای از خورشید بود مقدس شمرد و به شناسایی، حفظ و نگهداری آن مشغول شد. کشف و شناختن آتش و چگونگی تولید و مهار آن یکی از بزرگترین رویدادهای زندگی بشر و آغاز بسیاری از تحولات بعدی است.

در آثار به جای مانده از درّه نیل در مصر باستان، نمونه‌ای از آینه‌ای فلزی به‌دست آمده که مربوط به چهار هزار سال پیش است. دانشمندان یونان باستان مانند فیثاغورس[۱]، دموکریت[۲]، افلاطون[۳] و ارسطو[۴] دربارهٔ ماهیت و رفتار نور به بحث پرداخته‌اند. اقلیدس حدود سه قرن پیش از میلاد از انتشار نور به خط راست و برابری زاویهٔ تابش با زاویهٔ بازتاب سخن گفته است. رومیها از کره‌های بلوری برای روشن کردن آتش و تمرکز نور بهره می‌بردند و از ذره‌بین برای دیدن اجسام کوچک استفاده می‌کردند.

در مجموعهٔ پرسش و پاسخی که از ابوریحان بیرونی و ابن‌سینا موجود است به چنین پرسشی برمی‌خوریم:

«چگونه است که ظرف شیشه‌ای مدور پر از آب در تابش آفتاب اشیا را می‌سوزاند اما اگر از آب تهی باشد چنین نمی‌کند؟»

خواجه نصیرالدین طوسی در کتاب **تجریدالکلام** می‌نویسد:

«به نظر برخی از دانشمندان نور از ذره‌های خردی ساخته شده که از منبع نور جدا شده و به اجسام گیرندهٔ نور می‌رسد.»

1- Pythagoras 2- Democritus 3- Plato 4- Aristotle

قطب‌الدین شیرازی درکتاب **نهایةالادراک** از بینایی و پدیدهٔ رنگین‌کمان بحث می‌کند. وی پدیدهٔ رنگین‌کمان را شبیه حالتی می‌داند که پرتو نور از محیطی شفاف مانند قطرهٔ آب عبور کرده است.

کمال‌الدین فارسی درکتاب **تنقیح‌المناظر** دربارهٔ شکست نور می‌گوید:

«هرگاه نور با جسم شفاف غلیظ‌تری مصادف شود، این غلظت مانع از حرکت نور در جهت اولیه خواهد بود. پس در جهتی سیر می‌کند که نفوذ در آن سهلتر است. مسلماً چون راه سهلتری را اختیار می‌کند زودتر به مقصد می‌رسد.»

پس از آنکه کتابها و میراث علمی مسلمانان به اروپا راه یافت دانشمندان مغرب زمین به مطالعهٔ کتابهایی مانند کتاب المناظر ابن‌هیثم پرداختند و آنها را پایهٔ مطالعات بعدی خود قرار دادند و با سرعت پیش رفتند.

در ابتدای قرن هفدهم یک نفر عینک‌ساز هلندی به نام لیپرشی[1] (۱۶۱۹-۱۵۸۷) دوربین شکستی را اختراع کرد و گالیله[2] با تراشیدن چند عدسی دوربینی ساخت که با آن توانست در ژانویهٔ سال ۱۶۱۰ میلادی قمرهای مشتری را کشف کند و در همان سال حلقهٔ زحل را با آن مشاهده کرد. پس از گالیله، کپلر[3] دربارهٔ شکست نور به مطالعه پرداخت و اسنل[4] و دکارت[5] قانونهای شکست نور را برحسب سینوس زاویه‌های تابش و شکست به‌دست آوردند. فرما[6] (۱۶۶۵-۱۶۰۱) قانون شکست نور را با استفاده از اصل کمترین زمان، که خود بیان کنندهٔ آن بود، به روش ریاضی به‌دست آورد. بنابر این اصل نور در هنگام انتشار از یک نقطه به نقطهٔ دیگر، از مسیری می‌گذرد که درکمترین زمان آن را بپیماید.

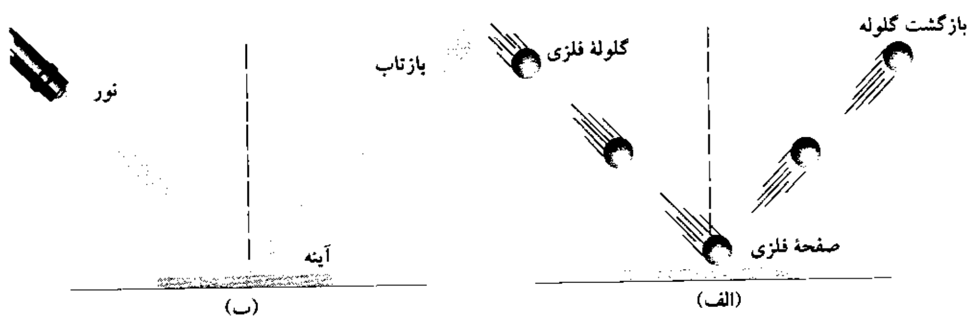
نیوتون[7] با استفاده از منشور نور را تجزیه کرد و با تلسکوپی که ساخت به مشاهدهٔ اجسام دور پرداخت. در مورد ماهیت نور طرفدار نظریهٔ ذره‌ای بود. همزمان با نظریهٔ ذره‌ای نور، نظریهٔ موجی هم توسط هویگنس[8] (۱۶۹۵-۱۶۲۹) بیان شد ولی نظریهٔ ذره‌ای بیشتر مورد توجه قرارگرفت تا آنکه یانگ[9] با آزمایشهای دقیقی که انجام داد نظریهٔ موجی را دوباره مطرح کرد. کارهای یانگ توسط فرنل[10] به‌طور مستقل انجام شد و پدیده‌های تداخل[11]، پراش[12] و قطبش[13] نور براساس نظریهٔ موجی نور توضیح داده شد.

۱ـ۲ ماهیت نور

نور شکلی از انرژی است که بر سلولهای بینایی اثر می‌کند و سبب روشنایی و دیدن اجسام می‌شود. دربارهٔ ماهیت نور نظریهٔ ذره‌ای، نظریهٔ موجی و نظریهٔ فوتونی نور تاکنون بیان شده است.

1- Lippershey, Hans　2- Galileo Galilei　3- Kepler, Johannes　4- Snell, Willebord
5- Descartes, Rene　6- Fermat, Pierr de　7- Newton, Sir Isaac　8- Huggens, Christian
9- Young, Thomas　10- Fresnel, Augustin　11- interference　12- diffraction
13- polarization

نظریهٔ ذره‌ای - نیوتون (۱۷۲۷-۱۶۴۲) فیزیک ـ ریاضیدان انگلیسی ماهیت نور را ذره فرض کرد. او نور را جریانی از ذره‌های بسیار ریزی می‌دانست که از چشمهٔ نور به فضای اطراف تابش می‌شود. جرم هر ذره ناچیز و سرعت آن بینهایت زیاد است به‌طوری که می‌تواند از فاصلهٔ میان ذره‌های سازندهٔ جسم شفاف بگذرد. نیوتون تفاوت میان رنگهای مختلف نور را مربوط به تفاوت ذره‌های نور می‌دانست. با نظریهٔ نیوتون و شباهت ذرهٔ نور با گلولهٔ کوچک می‌توان به آسانی انتشار نور به خط راست و نیز بازتاب و شکست نور را توجیه و تفسیر کرد، شکل ۱-۱. این شکل یک گلولهٔ کشسان شیشه‌ای یا فولادی را نشان می‌دهد که بر اثر برخورد به یک سطح تخت به همان ترتیبی باز می‌گردد که یک دسته پرتو نور از سطح آینه بازتابیده می‌شود.



شکل ۱-۱

نظریهٔ موجی نور - هویگنس فیزیکدان هلندی ماهیت موجی نور را پذیرفت و اعلام کرد که نور بر اثر حرکتهای ارتعاشی به‌وجود می‌آید و به‌صورت موج می‌تواند در اطراف منتشر شود. نظریهٔ هویگنس را فِرنل و یانگ دانشمندان فرانسوی و انگلیسی کاملتر کردند و پدیده‌های تداخل و پراش را با استفاده از نظریهٔ موجی توجیه و تشریح کردند.

ماکسول[1] در سال ۱۸۶۵ میلادی اعلام کرد که نور بخشی از طیف موجهای الکترومغناطیسی است. موجهای الکترومغناطیسی از دو میدان الکتریکی و مغناطیسی عمود بر هم به وجود می‌آیند. هنگامی که بارهای الکتریکی حرکت نوسانی داشته باشند موجهای الکترومغناطیسی به‌وجود می‌آید. این موجها انرژی بارهای الکتریکی نوسان‌کننده را با سرعت نور به فضای اطراف منتشر می‌کنند. بنابر نظریهٔ هویگنس ماهیت نور، پرتوهای x، پرتوهای گاما و موجهای رادیویی یکی است و تفاوت در مشخصهٔ موج است. مشخصه‌های هر موج بسامد[2]، دوره[3] و طول موج[4] است. به کمک نظریهٔ موجی نور پدیده‌های تداخل، پراش و قطبش نور شرح داده می‌شود. بر طبق فرضیهٔ موجی، رنگهای مختلف نور مربوط به بسامد و طول موج آنهاست.

1- Maxwell, James Clerk   2- frequency   3- period   4- wave length

نظریهٔ فوتونی نور ـ پلانک[1] فیزیکدان آلمانی انرژی را مانند ماده کمیتی ناپیوسته فرض کرد. او می‌گفت همانطور که ماده از ذره‌های جدای از یکدیگرِ مولکول و اتم تشکیل شده است انرژی هم شامل بسته‌های کوچک جدا از یکدیگر است. اینشتین[2] فیزیکدان آلمانی نور را هم از بسته‌های کوچک انرژی فرض کرد و نام هر بسته را فوتون[3] نامید. این نظریه را نظریهٔ کوانتومی نور[4] نیز می‌نامند.

اندازهٔ انرژی هر فوتون از رابطهٔ زیر به‌دست می‌آید

$$E = h\nu$$

در این رابطه E انرژی فوتون و ν بسامد موج و h عدد ثابتی است که به ثابت پلانک مشهور است. هرگاه ν برحسب هرتز و E برحسب یکای انرژی، ژول باشد $h = ۶{,}۶ \times ۱۰^{-۳۴}\ \mathrm{J \cdot s}$ خواهد بود. بنابر نظریهٔ فوتونی نور، رنگهای مختلف نور مربوط به انرژی فوتونهاست. در طیف نور سفید هر اندازه از رنگ سرخ به رنگ بنفش نزدیکتر شویم انرژی فوتون مربوطه بیشتر است.

فاینمن فیزیکدان و برندهٔ جایزهٔ نوبل دربارهٔ ماهیت نور می‌گوید:

«نیوتون فکر می‌کرد که نور از ذره تشکیل شده است، لیکن بعداً کشف شد که رفتاری شبیه موج دارد. اما مدتها بعد (در آغاز قرن بیستم)، پی بردند که نور گاهی مانند ذره رفتار می‌کند. مثلاً بنابر سوابق تاریخی، می‌پنداشتند که رفتار الکترون مانند ذره است، و بعد معلوم شد که از جهات زیادی مانند موج عمل می‌کند. بنابراین، درواقع مانند هیچ‌کدام عمل نمی‌کند. اکنون از هر دو نظر گذشته‌ایم، می‌گوییم شبیه هیچ‌یک نیست! لیکن خوشبختانه الکترون درست مثل نور رفتار می‌کند، رفتار کوانتومی اجزای اتم (الکترون، پروتون، نوترون، فوتون و مانند آنها) یکسان است، آنها جملگی ذره‌ـ موج‌اند یا هر چه که می‌خواهید آنها را بنامید.»

بنابر نظریهٔ دوبروی[5]، فوتون ماهیت دوگانه دارد، هم موج است و هم ذره. در بعضی شرایط پدیده‌های موجی آن بیشتر جلب توجه می‌کند. درصورتی که در شرایط دیگری، پدیده‌های مربوط به آن را با نظریهٔ ذره‌ای آسان‌تر می‌توان توجیه کرد.

۱ـ۳ سرعت نور

موضوع اندازه‌گیری سرعت نور از زمان گالیله مطرح شد. پیش از گالیله تصور بر این بود که سرعت نور نامحدود است. یعنی نور بدون گذشت زمان و به‌طور آنی فاصلهٔ میان دو نقطه را طی می‌کند. گالیله عملاً به اندازه‌گیری سرعت نور پرداخت. او دو تپه را که چندین کیلومتر از یکدیگر فاصله داشتند درنظر گرفت. در یک شب تاریک خود و دستیارش هر یک روی تپه‌ای ایستادند. آنها دو چراغ روشن در زیر

1- Planck, Max Karl Ernest Ludwig 2- Einstein, Albert 3- photon
4- quantum theory of light 5- de Broglie, Louis Victor

لباس بلند و ضخیم خود پنهان کرده بودند. قرار شد که وقتی گالیله لباس را از روی چراغ خود پس می‌زند و نور آن به تپهٔ دیگر می‌رسد دستیارش با دیدن نور، لباس را از روی چراغ خود پس بزند تا نور آن چراغ به گالیله برسد. تصور گالیله آن بود که بین لحظه‌ای که نور از چراغ خودش منتشر می‌شود تا لحظه‌ای که نور چراغ مقابل به او می‌رسد زمانی طول می‌کشد که می‌توان این زمان را اندازه گرفت (Δt) و از تقسیم دو برابر فاصلهٔ میان دو تپه بر این زمان سرعت نور را به‌دست آورد.

گالیله آزمایش خود را چندین بار و در شبهای مختلف آزمایش کرد ولی نتوانست زمان میان دو لحظهٔ ارسال و دریافت نور را اندازه بگیرد. او در همان لحظهٔ ارسال نور، روشنایی چراغ مقابل را می‌دید ($\Delta t = ۰$). بنابراین نتیجه گرفت که با آن روش و در فاصلهٔ کوتاه نمی‌توان سرعت نور را اندازه گرفت. اندازه‌گیری سرعت نور با کارهای گالیله آغاز شد ولی رومر[۱] در سال ۱۶۷۶ میلادی با استفاده از فاصلهٔ میان سیاره‌ها سرعت نور را اندازه گرفت و مشخص کرد که این سرعت بینهایت نیست. فیزو[۲] با استفاده از چرخهای دندانه‌دار و فوکو[۳] با استفاده از آینهٔ دوار سرعت نور را روی زمین اندازه گرفتند.

مایکلسون[۴] مدت ۴۰ سال از سال ۱۸۸۰ تا ۱۹۲۰ سرعت نور را با روشهای مختلف اندازه گرفت و به نتایج نسبتاً دقیقی رسید. اکنون با استفاده از لیزر سرعت نور با دقت زیاد اندازه‌گیری شده و مقدار آن در خلأ برابر است با

$$c = ۲/۹۹۷۹۲۴۵۸۶ \times ۱۰^{۸}\mathrm{m/s}$$

برای آنکه محاسبه‌ها آسانتر باشد معمولاً سرعت نور را برابر $c = ۳/۰۰ \times ۱۰^{۸}\mathrm{m/s}$ یعنی ۳۰۰,۰۰۰ کیلومتر بر ثانیه منظور می‌کنند. سرعت نور در محیطهای شفاف مختلف از این مقدار کمتر است.

۱ـ۴ انتشار نور به خط راست

چشمه‌های نور اگر در محیط شفاف قرار گیرند می‌توانند در همه امتدادهای فضا نور منتشر کنند. اگر چشمهٔ نور بسیار دور یا بسیار کوچک باشد می‌توان آن را شبیه یک نقطه درنظر گرفت که در این صورت آن را چشمهٔ نقطه‌ای[۵] نور گویند.

هر چشمهٔ نقطه‌ای، انرژی نوری را در امتداد خطهایی به اطراف منتشر می‌کند. هر خط فرضی که مسیر انتشار نور را نشان می‌دهد پرتو نور[۶] می‌نامند. در محیطی که سرعت نور تغییر نکند پرتوهای نور خط راست هستند و به عبارت دیگر نور به خط راست منتشر می‌شود. تشکیل سایه و نیم‌سایه، خورشید گرفتگی، ماه گرفتگی و نیز چگونگی ایجاد تصویر در دوربین روزنه‌ای از جمله مواردی هستند که بر انتشار نور به خط راست دلالت دارند.

1- Roemer, Ole   2- Fizeau, Armand   3- Foucault, Jean Bernard Leon

4- Michelson, Albert Abraham   5- point source   6- ray of light

۱ـ۵ سایه و نیم‌سایه

هرگاه مانع کدری مطابق شکل ۱-۲ در برابر پرتوهای نور یک چشمهٔ نقطه‌ای قرار گیرد، این پرتوها نمی‌توانند از آن بگذرند و در نتیجه در پشت مانع سایه[1] به‌وجود می‌آید که این سایه را می‌توان روی پرده مشاهده کرد.

فضای سایه بسته به شکل مانع یک مخروط یا هرم ناقص خواهد بود. طول سایه $A'B'$ را می‌توان با استفاده از تشابه مثلثها به صورت زیر به دست آورد.

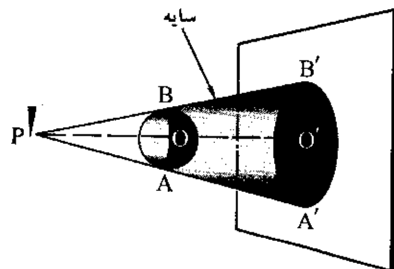
دو مثلث PAB و $PA'B'$ با هم متشابه‌اند و می‌توان نوشت

$$\frac{A'B'}{AB} = \frac{PO'}{PO}$$

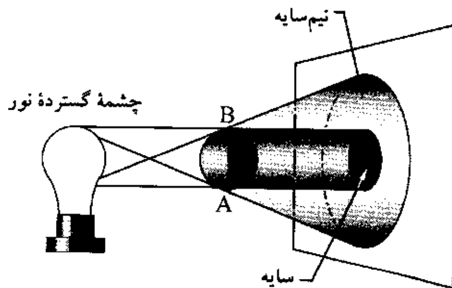
با توجه به رابطهٔ بالا نسبت سطح سایه، S' به سطح جسم کدر، S به شرط آنکه پرده و سطح جسم موازی باشند، چنین است

$$\frac{S'}{S} = \left(\frac{PO'}{PO}\right)^2$$

اگر چشمه نور گسترده[2] باشد یعنی از تعداد زیادی چشمهٔ نقطه‌ای تشکیل شده باشد، علاوه‌بر سایه، مطابق شکل ۱-۳ نیم‌سایه[3] نیز تشکیل می‌شود.



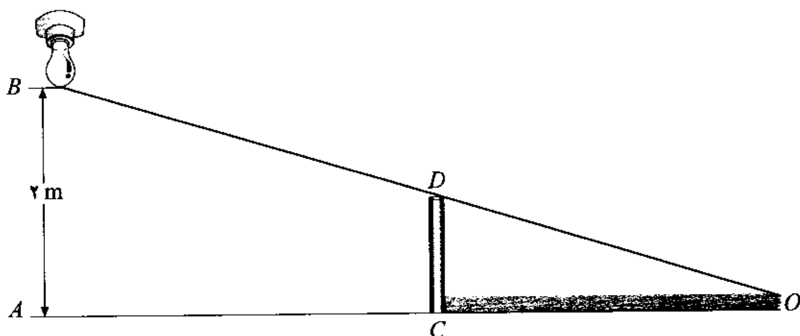
شکل ۱-۲



شکل ۱-۳

مثال ۱. لامپی مطابق شکل ۱-۴ به فاصلهٔ ۲m از سطح زمین قرار دارد. هرگاه میله‌ای به طول ۱m را به فاصلهٔ ۲m از زیر لامپ روی زمین و به طور قائم قرار دهیم، طول سایهٔ آن بر زمین چقدر است؟

1- shadow=umbra 2- extended source 3- penumbra



شکل۱-۴

حل: دو مثلث OAB و OCD متشابه‌اند و می‌توان نوشت

$$\frac{OC}{OA} = \frac{CD}{AB} \Longrightarrow \frac{OC}{OC + AC} = \frac{CD}{AB}$$
$$\frac{OC}{OC + ۲} = \frac{۱}{۲} \Longrightarrow OC = ۲\text{m}$$

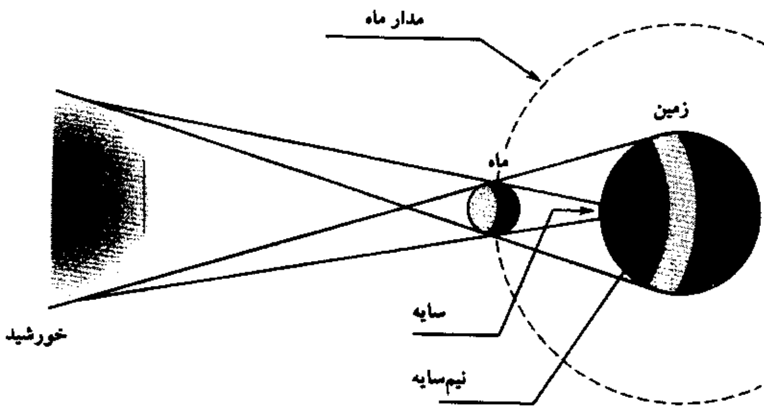


۱ـ۶ خورشیدگرفتگی

خورشیدگرفتگی[1] یا کسوف هنگامی روی می‌دهد که مطابق شکل ۱-۵ ماه میان زمین و خورشید قرار گیرد و نور خورشید به زمین نرسد. دراین صورت سایهٔ ماه بر زمین می‌افتد و خورشید دیده نمی‌شود. چون خورشید یک چشمهٔ گسترده نور است علاوه‌بر فضای سایه، فضای نیم‌سایه هم به‌وجود می‌آید. دراین صورت برای آن قسمت از سطح زمین که در سایهٔ کامل ماه قرار گرفته است خورشیدگرفتگی کامل روی داده و در قسمتی که در نیم‌سایه باشد خورشیدگرفتگی جزئی خواهیم داشت. شکل ۱-۶ تصویر یک خورشیدگرفتگی را نشان می‌دهد.

مثال ۲. فاصلهٔ زمین تا خورشید $D = ۱/۵ \times ۱۰^{۸}\text{km}$ و قطر خورشید $d = ۱/۴ \times ۱۰^{۶}\text{km}$ و قطر ماه $d' = ۳/۶ \times ۱۰^{۳}\text{km}$ است. درصورتی که سایهٔ کامل ماه بر زمین فقط یک نقطه باشد، فاصلهٔ ماه تا سطح زمین چقدر است؟

1- eclips of the sun



شکل۱-۵



شکل۱-۶

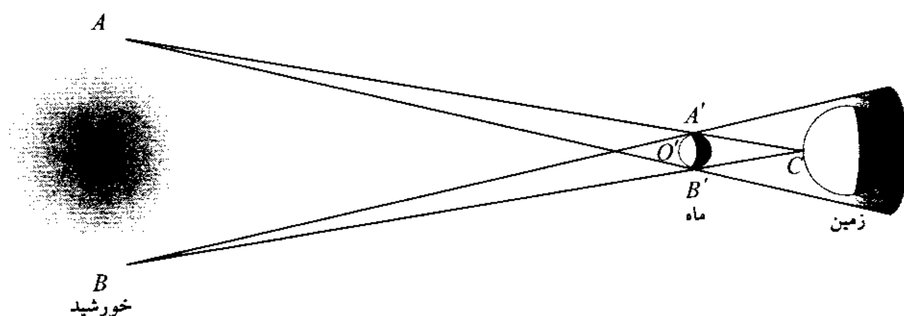
حل: با توجه به شکل ۱-۷ از تشابه مثلثها می‌توان نوشت

$$\Delta ABC \sim \Delta A'B'C \Longrightarrow \frac{O'C}{OC} = \frac{A'B'}{AB}$$

$$O'C = OC\frac{A'B'}{AB}, \qquad O'C = D\frac{d'}{d}$$

$$O'C = ۱/۵ \times ۱۰^{۸} \times \frac{۳/۶ \times ۱۰^{۳}}{۱/۴ \times ۱۰^{۶}} = ۳/۸۵ \times ۱۰^{۵}\text{km}$$

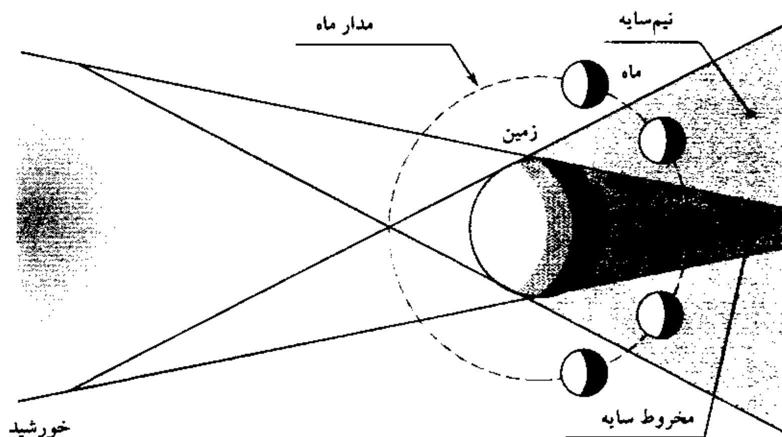
▲



شکل۱-۷

۱ـ۷ ماه‌گرفتگی

ماه‌گرفتگی[1] یا خسوف هنگامی روی می‌دهد که زمین مانع رسیدن نور خورشید به ماه شود. دراین صورت ماه از زمین دیده نمی‌شود. اگر ماه در سایهٔ کامل زمین قرارگیرد خسوف کلی و اگر در نیم‌سایه قرارگیرد، خسوف جزئی روی می‌دهد، شکل ۱-۸.



شکل۱-۸

اگر سطح مدار ماه به دور زمین و سطح مدار زمین به دور خورشید بر هم منطبق بودند همیشه در ابتدای هر ماه یک خورشیدگرفتگی و در نیمهٔ هر ماه یک ماه‌گرفتگی به وجود می‌آمد. زاویهٔ سطح مدار زمین و سطح مدار ماه دائماً تغییر می‌کند و پس از ۱۸ سال و $11\frac{1}{3}$ روز شمسی این زاویه مجدداً اندازه‌های قبلی خود را خواهد داشت. این دوره راکه به مدت ۲۲۳ ماه قمری است و در آن ماه‌گرفتگی و خورشیدگرفتگی عیناً تکرار می‌شوند ساروس می‌نامند.

1- eclips of the moon

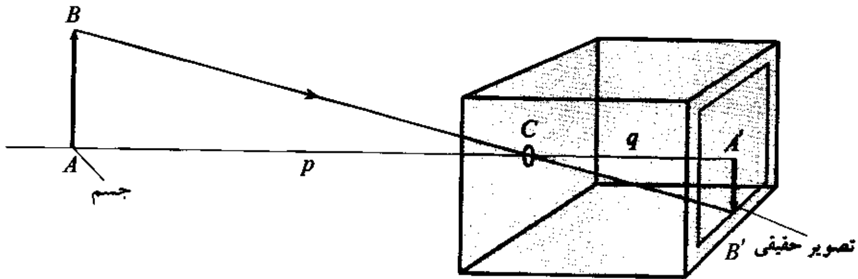
۱ـ۸ دوربین روزنه‌ای

دوربین روزنه‌ای[1] جعبه‌ای است که در یک وجه آن یک سوراخ کوچک و در وجه مقابل یک صفحهٔ نیم‌شفاف قرار دارد. هرگاه جسم روشنی را مطابق شکل ۱-۹ در برابر دوربین روزنه‌ای قرار دهیم، تصویری وارونه شبیه جسم روی صفحهٔ نیم‌شفاف دیده می‌شود.

اندازهٔ تصویر با توجه به تشابه مثلثها از رابطهٔ زیر به‌دست می‌آید

$$\Delta ABC \sim \Delta A'B'C \Longrightarrow \frac{A'B'}{AB} = \frac{CA'}{CA}$$

$$A'B' = AB\frac{CA'}{CA}$$



شکل۱-۹

به‌طوری که ملاحظه می‌شود طول تصویر، $A'B'$، با طول جسم، AB و عمق دوربین روزنه‌ای $A'C$ نسبت مستقیم و با فاصلهٔ جسم تا آن نسبت عکس دارد.

مثال ۳. عمق یک دوربین روزنه‌ای ۱۰cm است. اگر این جعبه در فاصلهٔ ۲ متری جسمی به طول ۵۰cm قرار گیرد تصویرش چند سانتیمتر است؟

حل: از شکل ۱-۹ داریم

$$AB = ۵۰\text{cm}, \quad AC = ۲۰۰\text{cm}, \quad A'C = ۱۰\text{cm}, \quad A'B' = ?$$

داریم

$$A'B' = AB\frac{A'C}{AC} = ۵۰ \times \frac{۱۰}{۲۰۰} = ۲/۵\text{cm}$$

▲

1- pinhole camera

۱ـ۹ نور و روشنایی

نور، صورتی از انرژی است که می‌تواند فضا را روشن کند و امکان دیدن اجسام را فراهم آورد. روشنایی هر سطحی که نور بر آن بتابد، E با شدت چشمهٔ نور، I نسبت مستقیم دارد. هر اندازه شدت چشمهٔ نور بیشتر باشد روشنایی سطح بیشتر است. افزون بر آن روشنایی به فاصلهٔ چشمه نور تا صفحهٔ موردنظر، d، و نیز زاویهٔ تابش نور بر صفحه، θ بستگی دارد. اندازه‌گیری و محاسبه نشان می‌دهد که روشنایی نقطه‌ای از یک صفحه که به فاصلهٔ d از چشمهٔ نقطه‌ای نور به شدت I قرار گیرد از رابطهٔ زیر به‌دست می‌آید

$$\text{روشنایی } E = \frac{I(\text{شدت چشمهٔ نور})}{d^2(\text{فاصله نقطه تا چشمهٔ نور})} \cos\theta$$

شدت چشمه را برحسب واحدی به نام کاندلا با نماد cd، و روشنایی را با واحدی به نام لوکس با نماد lx اندازه می‌گیرند.

هر کاندلا برابر $\frac{۱}{۶۰}$ نوری است که از یک سانتیمتر مربع جسم سیاه در دمای ذوب پلاتین در ۲۰۶۴K تابش می‌شود.

مثال ۴. شدت نور یک لامپ ۱۰۰ کاندلا است. معین کنید روشنایی نقطه‌ای از یک دیوار را که به فاصلهٔ ۴ متر از این لامپ قرار دارد، درصورتی که زاویهٔ تابش نور با این صفحه °۶۰ باشد.

حل:

$$E = \frac{I}{d^2}\cos\theta \Longrightarrow E = \frac{۱۰۰}{۴^۲} \times \cos ۶۰^\circ = ۳/۱ \text{ لوکس}$$



تا پیش از آنکه چشمه‌های روشنایی مصنوعی و چراغ اختراع شود انسان فقط در روز از روشنایی خورشید بهره می‌گرفت و با آغاز شب تاریکی همه‌جا را فرا می‌گرفت تا آنکه انسان توانست با استفاده از شمع و روغنهای گیاهی روشنایی در شب را فراهم کند. با اختراع مولدها و تولید جریانهای الکتریکی انسان به خاصیت گرمایی و روشنایی جریان الکتریکی پی‌برد و توانست لامپهای الکتریکی را بسازد و آنها را تکامل بخشد به‌طوری که بخش عمده‌ای از تولید برق جهان برای تولید نور و روشنایی مصرف می‌شود.

در ایران حدود ٪۳۰ از کل انرژی مصرفی صرف تأمین روشنایی می‌شود. مصرف این مقدار عظیم انرژی که بیشتر بر اثر مصرف بی‌رویه سوختهای فسیلی (نفت، گاز و زغال‌سنگ) تولید می‌شود پی‌آمدهای ناگواری از نظر محیط زیست و آینده بشر خواهد داشت. از این‌رو جایگزین کردن لامپهای کم‌مصرف کوششی است در جهت بهینه‌سازی مصرف انرژی.

نخستین لامپهای کم‌مصرف از حدود سال ۱۳۶۰ وارد بازار مصرف شدند و بتدریج جای لامپهای

پرمصرف را گرفتند. لامپ کم‌مصرف نامی است که برای لامپ فلورسنت فشرده[1] برگزیده شده است.
مقایسهٔ لامپهای کم‌مصرف با لامپهای رشته‌ای نشان می‌دهد که

- انرژی مصرفی در لامپ کم‌مصرف در حدود ۲۰٪ لامپ رشته‌ای با همان شدت نور است.
- طول عمر متوسط لامپ رشته‌ای حدود ۹۰۰ ساعت و طول عمر لامپ کم‌مصرف ۱۰۰۰۰ ساعت یعنی حدود ۱۱ برابر طول عمر رشته‌ای است.
- لامپ کم‌مصرف در مقابل تغییرات ولتاژ و بسامد برق شهر حساس نیست و نور طبیعی خود را تولید می‌کند.
- رنگ نور و نیز میزان نوردهی لامپ کم‌مصرف و لامپ رشته‌ای تقریباً یکسان است.
- لامپ کم‌مصرف بر اثر کار گرم نمی‌شود و در مقابل سرما مقاوم است و نیز بر اثر ریزش باران نمی‌شکند.
- لامپهای کم‌مصرف با جریان مستقیم هم کار می‌کنند.

اثر لامپ کم‌مصرف در صرفه‌جویی انرژی آن اندازه است که بعضی از کشورها لامپ کم‌مصرف را به قیمت $\frac{۱}{۲۰}$ قیمت اصلی و حتی رایگان در اختیار مصرف‌کننده قرار می‌دهند.

خلاصهٔ فصل

نور صورتی از انرژی است که بر سلولهای بینایی اثر می‌کند و سبب دیدن اجسام می‌شود. در مورد ماهیت نور سه نظریه بیان شده است، نظریهٔ ذره‌ای نیوتون، نظریهٔ موجی هویگنس و نظریهٔ فوتونی اینشتین.

بنابر نظریهٔ ذره‌ای، نور جریانی از ذره‌های بسیار ریز است که از چشمهٔ نور به اطراف حرکت می‌کند. ذرهٔ نور به خط راست منتشر می‌شود و بر اثر برخورد به مواد می‌تواند جذب، بازتابیده یا شکسته شود. پدیده‌های نوری تابع قانونهای بازتاب و شکست نور هستند.

بنابر نظریهٔ موجی، نور هم مانند صوت به صورت موج از چشمهٔ نور تابش می‌شود. رنگهای مختلف نور معرف طول موجهای مختلف است.

بنابر نظریهٔ فوتونی، نور از بسته‌های کوچک انرژی به نام فوتون یا کوانتوم نور تشکیل شده است. انرژی هر فوتون به بسامد موجی که وابسته به آن است بستگی دارد. نور از بعضی محیطها نمی‌گذرد و می‌تواند سایه‌ای پشت آن محیط به‌وجود آورد. اگر چشمهٔ نور بزرگ باشد علاوه‌بر سایه، نیم‌سایه هم خواهیم داشت. پدیده‌های خورشیدگرفتگی، ماه‌گرفتگی را می‌توانیم با استفاده از انتشار مستقیم نور توجیه کنیم.

1- compact fluorescent lamp

هدفهای آموزشی

اکنون که این فصل را به پایان رسانیده‌اید باید بتوانید

- نظریهٔ نیوتون را دربارهٔ ماهیت نور بیان کنید.
- نظریهٔ موجی نور را بیان کنید.
- نظریهٔ فوتونی نور را بیان کنید.
- اصطلاحات زیر را تعریف کنید:

  پرتو نور، محیط شفاف، سایه، نیم‌سایه، کاندلا، لوکس.
- رابطهٔ روشنایی را با شدت چشمهٔ نور بنویسید.
- خورشیدگرفتگی را با رسم شکل نشان دهید.
- ماه‌گرفتگی را با رسم شکل نشان دهید.
- دوربین روزنه‌ای و چگونگی تشکیل تصویر را در آن شرح دهید.
- رابطهٔ طول تصویر با طول جسم را در دوربین روزنه‌ای شرح دهید.
- رابطهٔ انرژی فوتون با بسامد نور را بنویسید و تحلیل کنید.

خود را بیازمایید

پرسشها

۱. نمونهٔ چشمهٔ نقطه‌ای و چشمهٔ گسترده کدام است؟

۲. در چه صورت ماه‌گرفتگی کامل است؟

۳. طرحی برای بررسی اینکه نور به خط راست منتشر می‌شود تهیه کنید.

۴. آیا نور دیده می‌شود؟ توضیح دهید.

۵. در چه شرایطی از یک جسم کدر فقط سایه تشکیل می‌شود؟

۶. در دوربین روزنه‌ای اگر قطر روزنه زیاد شود چه مشکلی به‌وجود می‌آید؟

۷. چگونه می‌توان با استفاده از یک چشمه با شدت معلوم، شدت نور چشمهٔ دیگری را اندازه گرفت؟ (این کار نورسنجی[1] نامیده می‌شود.)

۸. چرا در هر ماه یک ماه‌گرفتگی و یک خورشیدگرفتگی تشکیل نمی‌شود؟

۹. چگونه می‌توانید عرض یک رودخانه را بدون عبور از آن با استفاده از چند میلهٔ ساده اندازه بگیرید؟

۱۰. چگونه می‌توانید از یک سکه سایه‌ای به شکل دایره، بیضی و خط روی یک صفحه تشکیل دهید؟

1- photometry

پرسشهای چهارگزینه‌ای

۱. کدام جسم برای نور کدر است؟

الف) آب ب) شیشه پ) آینه ت) هوا

۲. فاصلهٔ جسمی تا یک دوربین روزنه‌ای ۴۰cm است. اگر جسم را ۸۰cm دورتر ببریم ابعاد تصویر نسبت به حالت اول چند برابر می‌شود؟

الف) ۳ ب) ۲ پ) $\frac{۱}{۳}$ ت) $\frac{۱}{۲}$

۳. سایهٔ قرص کدری روی زمین قرار دارد. اگر قرص را موازی با خود جابه‌جا کنیم سطح تصویر چگونه خواهد شد؟

الف) بزرگتر ب) کوچکتر

پ) ممکن است کوچکتر، یا بزرگتر شود ت) تغییر نمی‌کند

۴. فاصلهٔ لامپی تا زمین ۴m است. شخصی که طول قدش ۱۶۰cm است در فاصلهٔ ۴ متری زیر چراغ ایستاده است. طول سایهٔ شخص چند سانتیمتر است؟

الف) ۱۳۳ ب) ۲۶۶ پ) ۳۰۰ ت) ۶۰۰

۵. بالگردی در امتداد قائم با سرعت ثابت ۶۰km/h از زمین بالا می‌رود. پرتوهای خورشید با زمین زاویهٔ °۶۰ می‌سازند. سرعت حرکت سایه چند کیلومتر بر ساعت است؟

الف) ۳۰ ب) $۲۰\sqrt{۲}$ پ) $۲۰\sqrt{۳}$ ت) $۳۰\sqrt{۳}$

۶. در لحظه‌ای که جهت پرتوهای خورشید با سطح زمین زاویهٔ °۵۳ می‌سازند، سایهٔ یک مناره ۱۵ متر است. طول مناره چند متر است؟ ($\tan ۵۳° = \frac{۴}{۳}$)

الف) ۱۰ ب) ۲۰ پ) ۱۸ ت) ۱۱٫۲۵

۷. شعاعهای زمین و خورشید به ترتیب $۶٫۴ \times ۱۰^{۳}$km و $۷٫۰ \times ۱۰^{۵}$km و زاویهٔ دید خورشید $\frac{۱}{۲}$ درجه است. فاصلهٔ ماه از زمین باید چند کیلومتر باشد تا هیچ‌گاه خسوف کلی روی ندهد؟ زاویهٔ دید یا قطر ظاهری، زاویه‌ای است که پرتوهای دو طرف جسم با چشم ناظر می‌سازند.

الف) $۱٫۵ \times ۱۰^{۶}$ ب) $۷٫۳ \times ۱۰^{۵}$

پ) $۱٫۶ \times ۱۰^{۸}$ ت) در هر فاصله‌ای خسوف وجود دارد

۸. نظریهٔ فوتونی نور را چه کسی بیان کرد؟

الف) نیوتون ب) هویگنس پ) ماکسول ت) اینشتین

۹. انرژی هر فوتون با کدام کمیت نسبت مستقیم دارد؟

الف) طول موج ب) بسامد پ) دوره ت) دامنه

۱۰. در لحظه‌ای که طول سایهٔ یک میلهٔ قائم به طول ۱۸۰cm برابر ۲۰cm است، طول سایهٔ یک مناره ۱٫۲m است. طول مناره چند متر است؟

الف) ۸٫۴ ب) ۹٫۶ پ) ۱۰٫۸ ت) ۱۲

۱۱. صفحه‌ای به فاصلهٔ 2m از چشمه‌ای به شدت ۱۰۰ کاندلا قرار دارد. حداکثر روشنایی یک نقطه روی این صفحه چند لوکس است؟

الف) ۱۰ ب) ۱۵ پ) ۲۰ ت) ۲۵

۱۲. یک صفحهٔ فلزی به شکل مستطیل و به ابعاد ۳۰ × ۲۰ سانتیمتر را در فاصلهٔ 50cm از یک پرده قرار می‌دهیم. یک چشمهٔ نقطه‌ای نور در چند سانتیمتری از پرده باید قرار گیرد تا مساحت سایه ۱۲۰۰ سانتیمتر مربع شود؟ چشمهٔ نوری روی محور صفحهٔ فلزی قرار دارد.

الف) ۵۰ ب) ۱۰۰ پ) ۱۵۰ ت) ۲۰۰

۱۳. طول موج نوری $6 \times 10^{-7}\text{m}$ است. بسامد آن چند هرتز (نوسان در ثانیه) است؟

الف) 5×10^{15} ب) 6×10^{15} پ) 5×10^{14} ت) 6×10^{14}

۱۴. طول موج نوری ۰٫۶ میکرون است. دورهٔ نوسان موج آن چند ثانیه است؟

الف) 2×10^{-15} ب) 2×10^{-14} پ) 5×10^{-14} ت) 5×10^{-15}

۱۵. طول موج نور A دو برابر طول موج نور B است. انرژی فوتون A چند برابر انرژی فوتون B است؟

الف) ۲ ب) ۴ پ) $\frac{1}{2}$ ت) $\frac{1}{4}$

۱۶. سرعت کدام رنگ نور در خلأ بیشتر است؟

الف) سرخ ب) زرد

پ) آبی ت) سرعت همه برابرند

۱۷. در پرتوهای نور، پرتو ایکس، پرتو گاما، پرتو فرابنفش انرژی کدام فوتون بیشتر است؟

الف) ایکس ب) گاما پ) فرابنفش ت) نور

۱۸. روشنایی یک صفحه با فاصلهٔ آن تا چشمهٔ نور چه نوع بستگی دارد؟

الف) مستقیم ب) معکوس

پ) با مجذور آن مستقیم ت) با مجذور آن معکوس

تمرینها

۱. نور پس از چه مدت از خورشید به زمین می‌رسد؟ فاصلهٔ زمین تا خورشید ۱۵۰ میلیون کیلومتر و سرعت نور $3 \times 10^{8}\text{m/s}$ است.

پاسخ: ۸ دقیقه و ۲۰ ثانیه

۲. طول موج نوری ۰٫۶ میکرون است. بسامد این موج چند هرتز است؟

پاسخ: 5×10^{14} هرتز

۳. طول موج یک فرستندهٔ رادیویی ۷۵ متر است. بسامد این موج چند هرتز است؟

پاسخ: 4×10^{6} هرتز برابر ۴ مگاهرتز

۴. سکه‌ای به شعاع یک سانتیمتر به فاصلهٔ ۰٫۵ متر از یک چشمهٔ نقطه‌ای نور قرار دارد و سایهٔ آن روی دیواری به فاصلهٔ ۱٫۵ متر از سکه می‌افتد. مساحت سایه چقدر است؟ سکه موازی با دیوار قرار دارد و نوری که از چشمه به مرکز آن می‌تابد بر سکه عمود است.

پاسخ: $۱۲٫۵۶\text{cm}^۲$

۵. شدت نور چراغی ۱۰۰ کاندلا است. حداکثر روشنایی نقطه‌ای از یک صفحه به فاصلهٔ ۲m از چراغ چقدر است؟

پاسخ: ۲۵ لوکس

۶. روشنایی نقطه‌ای از یک صفحه که به فاصلهٔ ۱۰m از چراغی قرار دارد ۵۰ لوکس است. اگر پرتوهای نور با زاویهٔ تابش ۶۰° به صفحه بتابند، شدت نور چراغ چند کاندلا است؟

پاسخ: $۱۰^۴$ کاندلا

۷. طول موج نوری ۰٫۶ میکرون است. انرژی فوتون آن چند ژول است؟

پاسخ: $۳٫۳ \times ۱۰^{-۱۹}\text{J}$

۸. طول موج یک تابش الکترومغناطیسی ۱ آنگستروم است. انرژی فوتون آن چند ژول است $(۱\text{Å} = ۱۰^{-۱۰}\text{m})$؟

پاسخ: $۱٫۹۸ \times ۱۰^{-۱۵}\text{J}$

۲

بازتاب نور

۲ـ۱ مقدمه

هرگاه پرتوهای نورکه در یک محیط شفاف منتشر می‌شوند، به محیط دیگری برسند در سطح جدایی دو محیط ممکن است حالتهای زیر روی دهند:

- تمام پرتوها جذب شوند. سطحی که تمام پرتوها را جذب کند، جذب‌کنندهٔ کامل یا سیاه کامل نامیده می‌شود.
- تمام پرتوها بازتابیده شوند، یعنی به همان محیط اول بازگردند. این پدیده بازتاب نور[1] نامیده می‌شود. سطحی که تمام پرتوها را بازتابیده کند، بازتاب‌کنندهٔ کامل یا سفید کامل نام دارد.
- قسمتی از پرتوها جذب، قسمتی بازتابیده و قسمتی در محیط جدید انتشار یابند. پرتوهایی که در محیط جدید انتشار می‌یابند از مسیر اولیه منحرف می‌شوند. این پدیده را شکست نور[2] می‌نامند. نسبت انرژی نوری بازتابیده یا شکسته شده به کل انرژی تابش شده به زاویهٔ تابش، جنس و رنگ سطح جدایی دو محیط، و رنگ نور بستگی دارد.

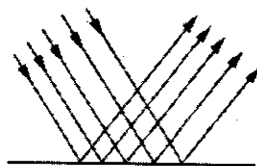
۲ـ۲ بازتاب نور

الف) بازتاب منظم نورـ اگر دسته پرتوهای موازی پس از برخورد به سطحی به‌طور موازی بازتابیده شوند، این پدیده بازتاب منظم[3] نامیده می‌شود، شکل ۲-۱.

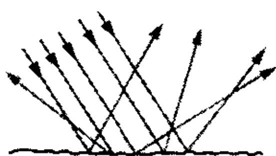
ب) بازتاب نامنظم نورـ هرگاه یک دسته پرتو موازی نور به سطح ناهمواری بتابد، پرتوهای بازتابیده غیرموازی و نامنظم خواهند بود، شکل ۲-۲ . بیشتر اجسامی که در اطراف خود می‌بینیم نظیر دیوار،

1- reflection of light 2- refraction of light 3- regular reflection

کاغذ و مقوا پرتوهای فرودی را به‌طور نامنظم بازتابیده می‌کنند. این پرتوها که به چشم ما می‌رسند سبب دیدن آنها می‌شود.

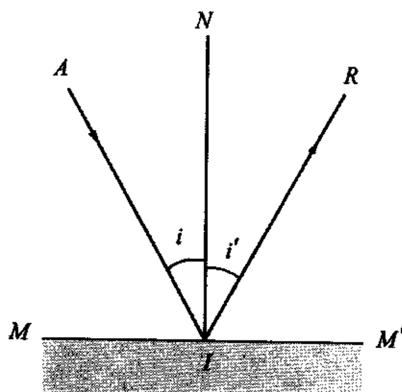


شکل ۲-۱



شکل ۲-۲

پ) قانونهای بازتاب نور- مطابق شکل ۲-۳ سطح بازتاب‌کنندهٔ MM' را درنظر می‌گیریم. پرتو AI را پرتو فرودی در نقطهٔ I و زاویهٔ بین پرتو فرودی AI و خط عمود IN را زاویهٔ تابش $(i = AIN)$ یا زاویهٔ فرود[1] و پرتو RI را پرتو بازتابیده و زاویهٔ $RIN = i'$ را زاویهٔ بازتاب[2] می‌نامند.



شکل ۲-۳

از آزمایشهای متعدد قانونهای زیر نتیجه می‌شود:

قانون اول - زاویهٔ فرود i همواره با زاویهٔ بازتاب i' برابر است.

قانون دوم - پرتو فرودی و پرتو بازتابیده و خط عمود در نقطهٔ فرود بر سطح بازتاب‌دهنده در یک صفحه قرار دارند. این صفحه را صفحهٔ تابش یا صفحهٔ فرود می‌نامند.

این قانونها را اسنل هلندی و دکارت فرانسوی در یک زمان و مستقل از یکدیگر کشف کردند و اکنون به نام قانونهای اسنل-دکارت مشهورند.

1- angle of incidence   2- angle of reflection

مثال ۱. زاویه‌های تابش یا فرود بر یک سطح صیقلی و تخت به ترتیب صفر، ۱۰، ۲۰، ۴۰ و ۸۰ درجه بوده است. برای هر یک از این زاویه‌های تابش

الف) زاویهٔ بازتاب چقدر است؟

ب) زاویهٔ بین پرتو تابش و پرتو بازتابیده چقدر است؟

پ) نمودار زاویهٔ تابش نسبت به زاویهٔ بازتاب را رسم کنید.

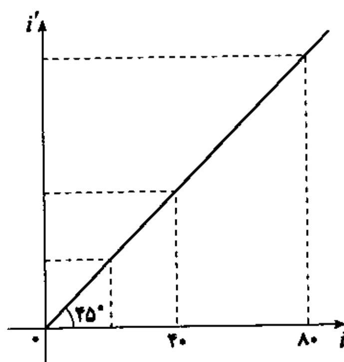
حل: الف) می‌دانیم $\angle i_1 = ۰^\circ, \angle i_2 = ۱۰^\circ, \angle i_3 = ۲۰^\circ, \angle i_4 = ۴۰^\circ, \angle i_5 = ۸۰^\circ$. چون زاویهٔ تابش و بازتاب در هر نقطه با هم برابرند ($i = i'$)، درنتیجه خواهیم داشت

$$\angle i'_1 = ۰^\circ, \angle i'_2 = ۱۰^\circ, \angle i'_3 = ۲۰^\circ, \angle i'_4 = ۴۰^\circ, \angle i'_5 = ۸۰^\circ$$

ب) زاویهٔ بین پرتو تابیده و بازتابیده در هر نقطه برابر است با ($\alpha = i + i'$)، درنتیجه

$$\angle\alpha_1 = ۰, \angle\alpha_2 = ۲۰^\circ, \angle\alpha_3 = ۴۰^\circ, \angle\alpha_4 = ۸۰^\circ, \angle\alpha_5 = ۱۶۰^\circ$$

پ) برای رسم نمودار زاویهٔ تابش برحسب زاویهٔ بازتاب دو خط عمود بر هم رسم می‌کنیم. محور افقی را برای زاویه‌های تابش و محور قائم را برای زاویه‌های بازتاب درنظر می‌گیریم و با روش نقطه‌یابی نمودار $i - i'$ را رسم می‌کنیم، شکل ۲-۴.



شکل ۲-۴

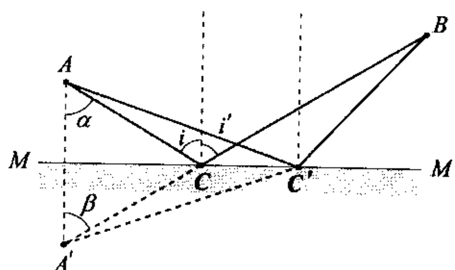
▲

۲ـ۳ اصل فرما

فرما دانشمند فرانسوی در سال ۱۶۵۷ میلادی دربارهٔ انتشار نور از یک نقطه به نقطهٔ دیگر اصل کمترین زمان را بیان کرد. بنابراین اصل مسیر واقعی بین دو نقطه که یک باریکهٔ نور می‌پیماید راهی است که در کمترین زمان پیموده می‌شود.

مثال ۲. با توجه به قانونهای بازتاب نور ثابت کنید مسیر نوری که از A تابش می‌شود و پس از بازتاب از MM' مسیر ACB را طی می‌کند تا به نقطهٔ B برسد، شکل ۲-۵، از هر مسیر دیگری مانند $AC'B$ کوتاهتر است.

حل: می‌خواهیم ثابت کنیم که مثلاً $ACB < AC'B$.



شکل۲-۵

ابتدا قرینهٔ A را نسبت به سطح MM' رسم و مثلث $AA'C$ را مشخص می‌کنیم. در این مثلث $\alpha = i$ و $\beta = i'$ است. درنتیجه چون $i = i'$، پس $\alpha = \beta$ و بنابراین

$$AC = A'C$$

خواهد بود. در مثلث $A'BC'$ می‌توان نوشت که یک ضلع کوچکتر از مجموع دو ضلع دیگر است، یعنی

$$A'B < A'C' + C'B$$

از طرف دیگر می‌دانیم که

$$A'C = AC, \quad A'C' = AC'$$

با جایگزینی

$$A'B = A'C + CB$$

$$\Longrightarrow A'B = AC + CB$$

می‌توان نوشت

$$AC + CB < A'C' + C'B$$

با جایگزینی به جای $A'C'$ نتیجه می‌گیریم که

$$AC + CB < AC' + C'B$$

یا $ACB < AC'B$.



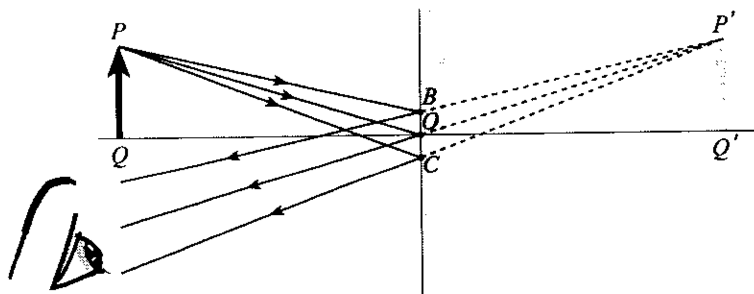
۲ـ۴ آینهٔ تخت

هر سطح کاملاً صاف و صیقلی را که بتواند بیشتر پرتوهای نوری را که به آن تابیده است بازتابیده کند، آینه[1] می‌نامند. هرگاه این سطح مسطح باشد، آن را آینهٔ تخت[2]، و اگر سطح خمیده باشد آن را آینهٔ خمیده[3] می‌نامند. آینه‌های خمیده ممکن است کروی، استوانه‌ای، شلجمی یا بیضوی باشند.

برای تهیهٔ آینهٔ تخت یک طرف یک تیغهٔ شیشه‌ای را با لایه‌ای از نقره یا جیوه می‌پوشانند و سطح ورقهٔ فلزی را کاملاً صاف و صیقلی می‌کنند.

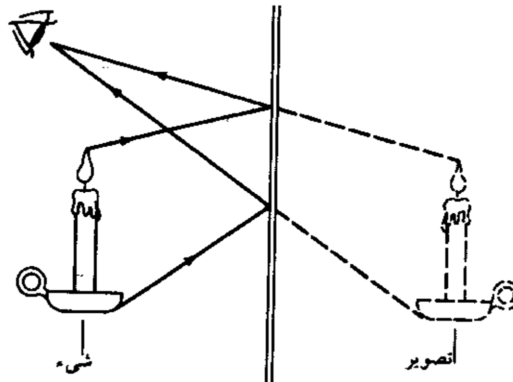
۲ـ۵ تصویر در آینهٔ تخت

از هر نقطه از جسم پرتوهایی به اطراف منتشر می‌شود و تعدادی از آنها به آینه برخورد می‌کنند و بازتابیده می‌شوند. در شکل ۲-۶ از نقطهٔ P سه پرتو رسم شده که به نقاط B، O و C تابیده‌اند. این پرتوها بنابر قانونهای بازتاب نور به صورت واگرا بازتابیده می‌شوند. ناظری که در مسیر پرتوهای بازتابیده شده قرار گیرد تصور می‌کند که پرتوها از نقطه P' به چشم او رسیده‌اند. نقطه P' را تصویر مجازی[4] نقطهٔ P گویند. تصویر هر نقطه دیگر از شیء PQ به همین ترتیب در آینه دیده می‌شود و مجموع این نقطه‌ها تصویر شیء را مطابق شکل ۲-۷ به‌دست می‌دهند که تصویری مستقیم، مجازی، مساوی جسم و قرینهٔ آن نسبت به آینه است. فاصلهٔ شیء تا آینه را با p و فاصلهٔ تصویر تا آینه را با q نشان می‌دهند.



شکل۲-۶

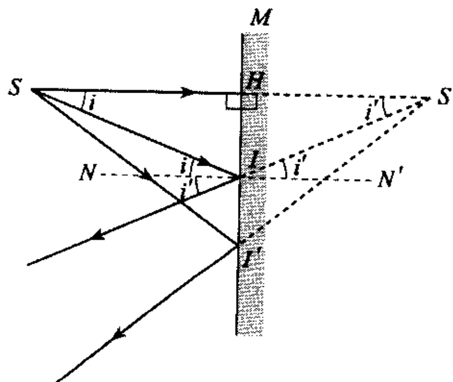
1- mirror 2- plan mirror 3- curved mirror 4- virtual image



شکل۲-۷

مثال ۳. با استفاده از قانونهای بازتاب نور ثابت کنید که فاصلهٔ تصویر تا آینهٔ تخت برابر فاصلهٔ شیء تا آینه است.

حل: نقطهٔ روشن S را به فاصلهٔ $SH = p$ از آینهٔ تخت M قرار می‌دهیم و پرتوهای SI و SI' را به آینه می‌تابانیم. امتداد پرتوهای بازتابیده تصویر S' را به‌دست می‌دهند، شکل ۲-۸.



شکل۲-۸

دو مثلث SHI و $S'HI$ با هم برابرند زیرا دارای یک زاویهٔ قائم‌اند ($H = ۹۰°$) و خط NN' موازی SS' است. درنتیجه $\angle HSI = \angle i$ و $\angle HS'I = \angle i'$. با استفاده از قانون بازتاب $\angle i = \angle i'$ است. نتیجه می‌گیریم که دو زاویهٔ $\angle HSI = \angle HS'I$ و درنتیجه زاویهٔ سوم دو مثلث نیز با هم برابر خواهند

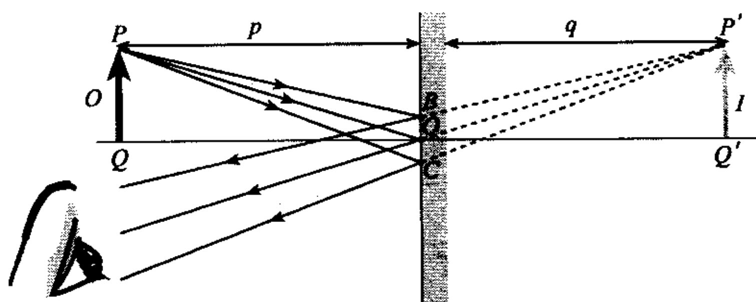
بود، یعنی $\angle SIH = \angle S'IH$. درنتیجه دو مثلث در حالت دو زاویه و ضلع بین آنها با یکدیگر برابرند. پس $SH = S'H$. به عبارت دیگر فاصلهٔ شیء تا آینه (p) با فاصلهٔ تصویر تا آینه (q) برابر است.

در شکل ۲-۷ می‌توان ثابت کرد که طول شیء با طول تصویر برابر است.



ویژگیهای تصویر در آینهٔ تخت

- فاصلهٔ شیء تا آینه برابر است با فاصلهٔ تصویر تا آینه، یعنی $p = q$.
- طول شیء و تصویر با هم برابرند. طول شیء را با I و طول تصویر را با O نشان می‌دهند، داریم $I = O$.
- تصویر مجازی و مستقیم است، شکل ۲-۹.



شکل۲-۹

- اگر در جلوی آینه، دست راست خود را بالا بریم، در تصویر دست چپ بالا می‌رود. (وارون جانبی)
- شیء و تصویر نسبت به آینه قرینه‌اند.

۲ـ۶ انتقال آینهٔ تخت

هرگاه نقطهٔ روشن S در برابر آینهٔ تخت M قرار گیرد، تصویر مجازی آن در آینه در $S_{۱}$ دیده می‌شود. هرگاه آینه به اندازهٔ d جابه‌جا شود و در H' قرار گیرد، شکل ۲-۱۰، تصویر این نقطه در همان جهت نسبت به آینه برابر d و نسبت به شیء $۲d$ منتقل می‌شود و در $S_{۲}$ دیده خواهد شد.

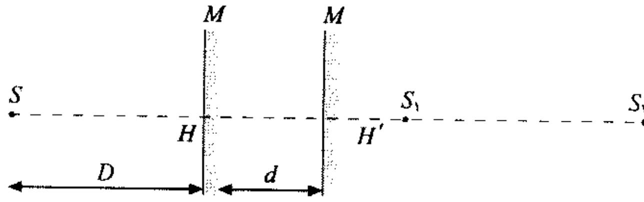
برای اثبات داریم $SS_{۱} = ۲SH = ۲D$ و $HH' = d$، $SH = D$.

با توجه به اینکه

$$SH' = SH + HH' = D + d$$

آنگاه

$$SS_{۲} = ۲SH' = ۲(D + d) = ۲D + ۲d$$



شکل۲-۱۰

و از آنجا برای تغییر مکان تصویر داریم

$$S_1S_2 = SS_2 - SS_1 = 2D + 2d - 2D = 2d$$

جابه‌جایی تصویر نسبت به آینه عبارت است از

$$S_2H' - S_1H' = 2d - d = d$$

می‌توان نتیجه گرفت که اگر سرعت و شتاب لحظه‌ای آینه به ترتیب برابر v و a باشند سرعت و شتاب تصویر نسبت به آینه برابر v و a و نسبت به جسم برابر $2v$ و $2a$ است.

مثال ۴. شیئی به فاصلهٔ ۳۰ سانتیمتر از آینهٔ تخت قرار دارد.

الف) شیء را به اندازهٔ ۱۰ سانتیمتر دور می‌کنیم. فاصلهٔ شیء تا تصویر و جابه‌جایی تصویر چه اندازه است؟

ب) شیء و آینه هرکدام ۱۰ سانتیمتر از یکدیگر دور می‌شوند. در این حالت تصویر از شیء چقدر دور می‌شود؟ تصویر چه اندازه جابه‌جا شده است؟

حل: الف) فاصلهٔ شیء از آینه ساکن پس از دور شدن برابر است با $P = 30 + 10 = 40$ و فاصلهٔ شیء تا تصویر برابر است با

$$p + q = 40 + 40 = 80 \text{ cm}$$

ب) در این حالت فاصلهٔ شیء تا آینه

$$p' = 10 + 30 + 10 = 50 \text{ cm}$$

$$p' + q' = 50 + 50 = 100 \text{ cm}$$

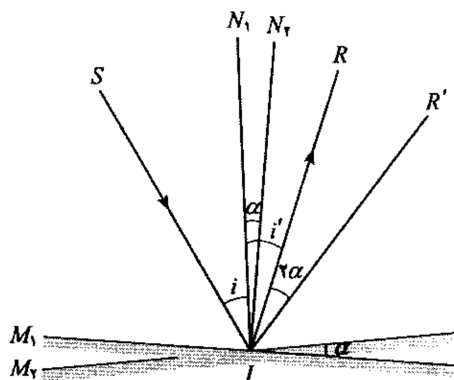
جابه‌جایی تصویر برابر است با

$$q' - q = 100 - 80 = 20 \text{ cm}$$

▲

۲ـ۷ چرخش آینه

هرگاه آینهٔ تختی در مسیر پرتوهای نور قرار گیرد، پرتوها بازتابیده می‌شوند. اگر آینه را حول محوری که در سطح آینه قرار دارد و بر صفحهٔ کاغذ عمود است مطابق شکل ۲-۱۱ به اندازهٔ α درجه بچرخانیم، هر یک از پرتوهای بازتابیده به اندازهٔ ۲α درجه می‌چرخند.



شکل۲-۱۱

برای اثبات می‌دانیم که زاویهٔ SIR برابر است با $SIR = SIN_۱ + N_۱IR = i + i' = ۲i$.
پس از چرخش آینه به اندازهٔ α درجه داریم

$$\angle SIN_۲ = \angle SIN_۱ + \angle N_۱IN_۲ = i + \alpha$$

$$\angle SIR' = \angle SIN_۲ + \angle N_۲IR' = (i + \alpha) + (i + \alpha) = ۲i + ۲\alpha$$

درنتیجه زاویهٔ RIR' برابر است با

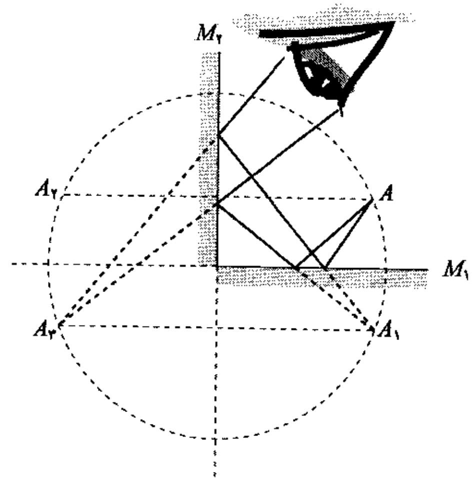
$$\angle RIR' = \angle R'IS - \angle RIS = (۲i + ۲\alpha) - ۲i = ۲\alpha$$

مثال ۵. آینه‌ای را یکبار در سطح خود به اندازهٔ ۱۰° و یکبار حول محوری که در سطح آن است به همان اندازه می‌چرخانیم. اگر زاویهٔ تابش ۵۰° باشد، اندازهٔ چرخش پرتو بازتابیده و مجموع زاویه‌های تابش و بازتاب را پس از دوران آینه به‌دست آورید.

حل: وقتی آینه در سطح خود بچرخد، پرتو بازتابیده چرخش نخواهد کرد و مجموع زاویه‌های تابش و بازتاب ۱۰۰° است. اگر آینه حول محوری که در سطح آن است به اندازهٔ $\alpha = ۱۰^\circ$ بچرخد پرتو بازتابیده بسته به جهت چرخش به اندازهٔ $۲\alpha = ۲۰^\circ$ می‌چرخد و درنتیجه زاویهٔ تابش جدید $i' = i \pm \alpha = ۵۰ \pm ۱۰$ خواهد بود. و از این‌رو زاویهٔ تابش ۶۰ یا ۴۰ درجه خواهد شد. به این ترتیب مجموع زاویه‌های تابش و بازتاب پس از چرخش برابر $۲i' = ۱۲۰^\circ$ یا $۲i' = ۸۰^\circ$ است.
▲

۲ـ۸ تصویر در دو آینهٔ متقاطع

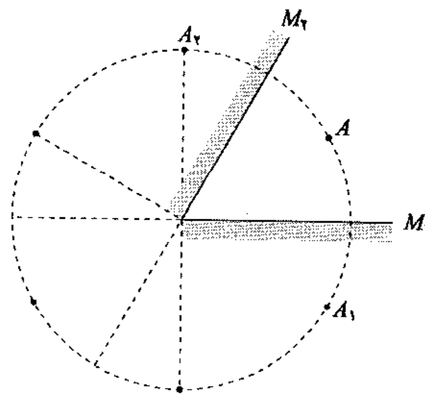
هرگاه شیئی در فضای بین دو آینهٔ متقاطع قرار گیرد، پرتوهایی از شیء به هر یک از دو آینه می‌تابد و دو تصویر مجازی به وجود می‌آید. چنانچه پرتوها پس از بازتابهای متوالی به آینه برخورد کنند، تصویرهای دیگری نیز حاصل می‌شود. هر چه زاویهٔ α بین دو آینه کوچکتر باشد تعداد این تصویرهای مجازی بیشتر خواهد بود. این تصویرها در شکل ۲-۱۲ الف و ب برای دو آینهٔ عمود بر هم و در شکل ۲-۱۲پ برای دو آینه با زاویهٔ °۶۰ نشان داده شده‌اند.



(الف)



(ب)



(پ)

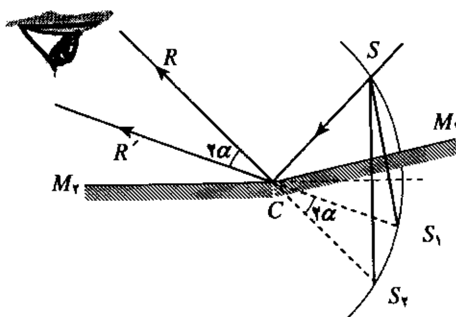
شکل۲-۱۲

تعداد تصویرها از رابطهٔ زیر به‌دست می‌آید

$$n = \frac{۳۶۰}{\alpha} - ۱ \quad \text{تعداد تصاویر}$$

شیء و تصویرهای آن روی دایره‌ای قرار دارند که شعاع آن برابر فاصلهٔ شیء تا محل تقاطع دو آینه است. رابطهٔ بالا برای حالتی دقیقتر است که شیء روی نیمساز زاویهٔ بین دو آینه قرار گیرد.

مثال ۶. نقطهٔ روشن S به فاصلهٔ ۵۰ cm از فصل مشترک دو آینهٔ تخت متقاطع که با هم زاویهٔ °۱۷۱ می‌سازند قرار دارد. با رسم شکل نشان دهید که چشم ناظر باید درکجا قرار گیرد تا دو تصویر را ببیند؟ فاصلهٔ بین دو تصویر چند سانتیمتر است؟



شکل۲-۱۳

حل: با توجه به شکل ۲-۱۳، $S_۱$ و $S_۲$ قرینهٔ S نسبت به دو آینهٔ $M_۱$ و $M_۲$ هستند و فاصلهٔ آنها از نقطهٔ C، محل برخورد دو آینه، برابر است با $S_۱C = S_۲C = SC = ۵۰\ \text{cm}$، زیرا S، $S_۱$ و $S_۲$ روی محیط یک دایره قرار دارند.

از طرف دیگر زاویهٔ α برابر است با $\alpha = ۱۸۰^\circ - ۱۷۱^\circ = ۹^\circ$. به عبارت دیگر فرض کرده‌ایم که آینه به اندازهٔ °۹ چرخیده است، درنتیجه پرتو بازتابیده به اندازهٔ ۲α درجه منحرف شده است، یعنی

$$RCR' = ۲\alpha = ۱۸^\circ$$

یا

$$۲\alpha = ۱۸^\circ = \frac{\pi}{۱۰} = \frac{۳/۱۴}{۱۰} = ۰/۳۱۴ \quad \text{رادیان}$$

درنتیجه فاصلهٔ $S_۱S_۲$ برابر است با

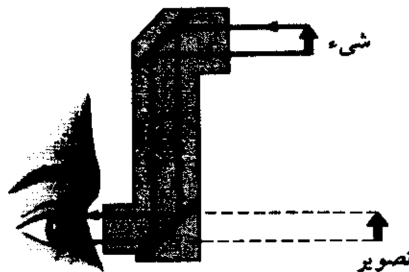
$$S_۱S_۲ = S_۲C \times ۲\alpha$$
$$= ۵۰ \times ۰/۳۱۴ = ۱۵/۷\ \text{cm}$$

پس اگر چشم ناظر در میدان مشترک دو آینه یعنی RCR' قرارگیرد هر دو تصویر را می‌بیند. ▲

۲ـ۹ کاربرد آینه‌های تخت

آینه‌های تخت کاربردهای فراوان دارند و انسان از زمانهای بسیار دور با استفاده از سطح آزاد آبهای ساکن و آرام و سطح صیقلی فلزات با تصویر در آینه‌ها آشنایی داشته است. نمونه‌ای از کاربرد و موارد استفاده آینه‌های تخت عبارت‌اند از

- استفاده از تصویر مستقیم آنها در خانه و محل کار.
- استفاده از آینه برای ارسال علائم مخابراتی به فاصله‌های دور. برای مثال آزمایشهای فاصله‌یابی زمین تا ماه توسط لیزرکه از سال ۱۹۶۹ آغاز شده است به بازتابگرهایی با کیفیت پیشرفته متکی است. فاصلهٔ بین ایستگاه فرستنده وگیرنده بر سطح زمین و مکان خارجی بر سطح ماه، از طریق اندازه‌گیری دقیق زمان لازم برای رفتن یک تپ نوری از زمین تا بازتابگر مستقر بر ماه، و بازگشت آن به زمین مورد بررسی قرار می‌گیرد.
- استفاده‌از آینهٔ تخت برای اندازه‌گیری سرعت نور و در سایر وسایل نوری بازتابی.
- زیبابین[1] که در آن معمولاً از سه آینهٔ تخت استفاده می‌شود و با قرار دادن خرده شیشه‌های رنگی شکلهای زیبایی به‌دست می‌آید.
- پیرامون نما یا پریسکوپ[2]. این دستگاه مطابق شکل ۲-۱۴ از لوله‌ای تشکیل شده که در دو طرف آن دو آینهٔ تخت موازی نصب شده است که هر یک از این آینه‌ها با محور لوله زاویهٔ ۴۵ درجه می‌سازد. هر تصویری که در یکی از این آینه‌ها دیده می‌شود، در دیگری نیز مشاهده می‌شود. این دستگاه در زیردریاییها، تانکها و دستگاههای دیگر مورد استفاده قرار می‌گیرد.



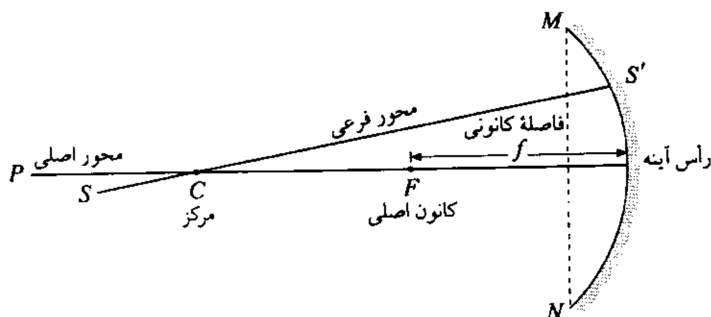
شکل۲-۱۴

1- caleidoscope　2- periscope

۲ـ۱۰ آینه‌های کروی

آینهٔ کروی[1]، بخشی از سطح یک کره است که می‌تواند پرتوهای نور را که به آن می‌تابد بازتاب دهد. اگر سطح داخلی کره آینه باشد آن را آینهٔ مقعر یا کاو[2] و اگر سطح بیرونی کره آینه باشد آن را آینهٔ محدب یا کوژ[3] می‌نامند. در آینه‌های کروی تعریفهای زیر حائز اهمیت‌اند:

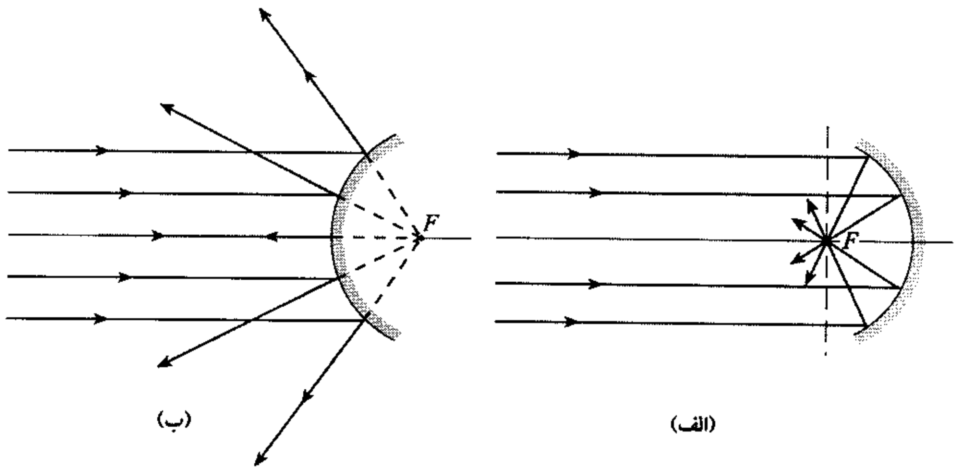
- مرکز[4] آینه یعنی نقطهٔ C مرکز کره‌ای است که آینه قسمتی از آن است، شکل ۲-۱۵.



شکل۲-۱۵

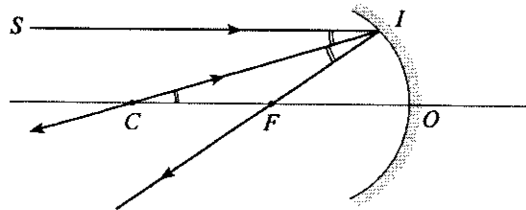
- دهانهٔ آینه[5] زاویهٔ MCN است، که محیط آینه با مرکز آن می‌سازد. دهانهٔ آینه‌های کروی که عملاً از آنها استفاده می‌شود از چند درجه بیشتر نیست.
- رأس[6] آینه، مرکز سطح آینه است.
- محور اصلی[7]، خطی فرضی است که مرکز انحنای آینه را به رأس آن وصل می‌کند.
- محور فرعی، هر خط فرضی است که مرکز انحنای آینه را به آینه مربوط کند.
- کانون[8] آینهٔ کاو نقطه‌ای است مانند F که وقتی پرتوهای موازی با محور اصلی به آینه بتابد پس از بازتاب در آن نقطه یکدیگر را قطع کنند، شکل ۲-۱۶ الف. در آینهٔ محدب پرتوهای موازی بازتابیده شده از یکدیگر دور می‌شوند و امتداد آنها از نقطه‌ای می‌گذرد که کانون مجازی آینهٔ محدب نامیده می‌شود، شکل ۲-۱۶ ب.
- فاصلهٔ بین کانون و رأس آینه را فاصلهٔ کانونی[9] آینه می‌نامند و آن را با f نشان می‌دهند.

1- spherical mirror 2- concave mirror 3- convex mirror 4- center 5- aperture
6- vertex 7- principle axis 8- focal point 9- focal length



شکل۲-۱۶

مثال ۷. ثابت کنید که در یک آینهٔ کاو یا مقعر فاصلهٔ کانونی نصف شعاع انحنای آینه است.



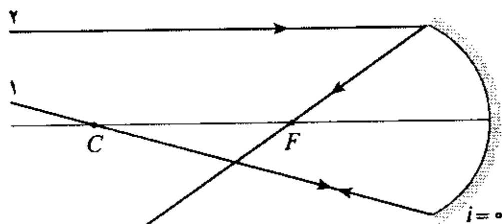
شکل۲-۱۷

حل: مطابق شکل ۲-۱۷ پرتو SI موازی محور اصلی به آینهٔ مقعری تابیده و از آن بازتابیده شده است. پرتو CI که از مرکز انحنای آینه عبور می‌کند و بر سطح آینه عمود است در همان امتداد بازتابیده می‌شود. درنتیجه دو خط SI و CO موازی و خط CI قاطع است، پس دو زاویهٔ $\angle SIC$ و $\angle CIF$ با هم برابرند. در مثلث CIF دو زاویهٔ $\angle SIC$، زاویه تابش، و $\angle CIF$، زاویهٔ بازتاب با هم برابرند. درنتیجه دو زاویهٔ $\angle CIF$ و $\angle FCI$ با هم برابر و مثلث CFI متساوی‌الساقین است و دو ضلع CF و FI نیز مساوی‌اند. هرگاه پرتو تابش SI به محور اصلی بسیار نزدیک باشد؛ دو خط CO و FI تقریباً بر هم منطبق‌اند، یعنی $FI \sim FO$. درنتیجه $CF \sim FO$، $FC + FO = R$، $R = ۲FO$، $R = ۲f$ و $f = \frac{R}{۲}$.

▲

۱۱ـ۲ رسم پرتوهای مشخص در آینهٔ کاو

هر پرتوی مانند پرتو ۱ در شکل ۲-۱۸ که از مرکز آینهٔ کاو بگذرد و به آینه برسد روی خود بازتاب می‌کند. برای این پرتو زاویهٔ تابش صفر است زیرا این پرتو از مرکز آینه گذشته و درنتیجه بر سطح آینه عمود است.
هر پرتوی مانند پرتو ۲ که موازی با محور اصلی به آینهٔ کاو برخورد کند، بازتاب آن از کانون اصلی می‌گذرد. واضح است که بنابر اصل بازگشت نور اگر پرتوی از کانون بگذرد و به آینه بتابد پس از بازتاب از آینه موازی با محور اصلی خواهد بود.

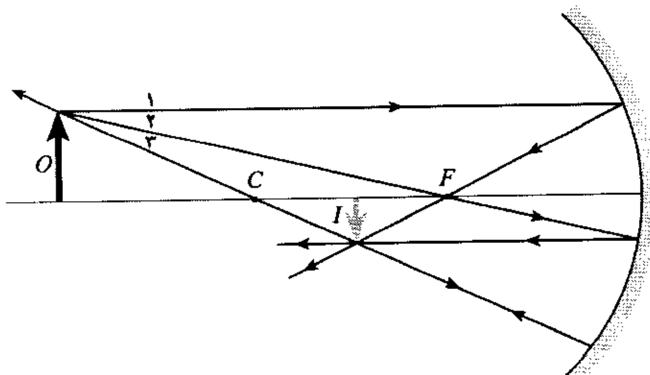


شکل۲-۱۸

۱۲ـ۲ تصویر در آینهٔ کاو

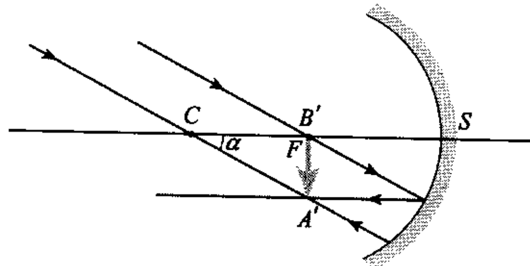
با رسم هر دو پرتو از این سه پرتو که در شکل ۲-۱۹ با ۱، ۲ و ۳ نشان داده شده است می‌توان تصویر شیء O را در آینهٔ کاو به صورت تصویر I به‌دست آورد.

حال تصویر یک شیء را در آینهٔ کاو برای موقعیتهای مختلف شیء به‌دست می‌آوریم.



شکل۲-۱۹

۱ـ شیء بینهایت دور ($p = \infty$) ـ آینهٔ کاو را طوری قرار می‌دهیم که محور اصلی آن بر لبهٔ پایینی جسم بینهایت دور مماس باشد. دراین‌صورت مطابق شکل ۲-۲۰ از لبهٔ بالایی شیء پرتوهایی از کانون و مرکز آینه می‌گذرند که با هم موازی‌اند و پس از بازتاب در نقطه‌ای یکدیگر را قطع می‌کنند که تصویر نقطهٔ بالایی شیء است. خطی که این نقطه را به‌طور عمود بر محور اصلی متصل کند تصویر شیء بینهایت دور است. این تصویر حقیقی، وارونه و کوچکتر از شیء و روی کانون واقع است.



شکل۲-۲۰

چون $p = \infty$ و $q = f$ است، طول تصویر $A'B'$ از مثلث $A'B'C$ به‌دست می‌آید، داریم

$$A'B' = B'C \tan\alpha$$

$$A'B' = \frac{R}{۲} \tan\alpha \Longrightarrow A'B' = f \tan\alpha$$

برای اجسام دور زاویهٔ α بزرگی زاویهٔ دید یا قطر ظاهری جسم کوچک است و درنتیجه می‌توان نوشت

$$A'B' = I = f \cdot \alpha$$

مثال ۸. مطلوب است قطر و سطح تصویر خورشید در آینهٔ کاوی به شعاع ۲ متر درصورتی که بزرگی زاویهٔ دید خورشید ۰٫۰۱ رادیان باشد.

حل: چون $R = ۲\text{m}$ است، داریم

$$f = \frac{R}{۲} = \frac{۲}{۲} = ۱\text{m} = ۱۰۰\ \text{cm}$$

پس بزرگی زاویهٔ دید یا قطر ظاهری تصویر خورشید عبارت است از

$$A'B' = I = f \cdot \alpha = ۱۰۰ \times ۰٫۰۱ = ۱\,\text{cm}$$

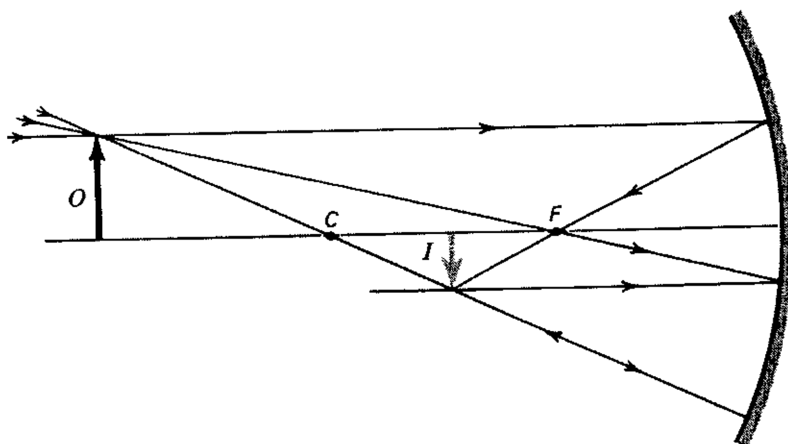
و سطح تصویر خورشید برابر است با

$$S = \pi r^۲ = ۳٫۱۴ \times \left(\frac{۱}{۲}\right)^۲ = \frac{۳٫۱۴}{۴} = ۰٫۷۸۵\,\text{cm}^۲$$

▲

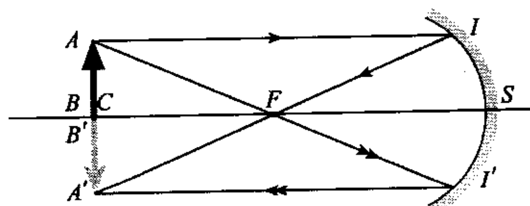
۲ـ شیء بین مرکز و بینهایت دور ـ این حالت در شکل ۲-۲۱ نشان داده شده است. در این حالت تصویر کوچکتر، حقیقی، وارونه و بین کانون تا مرکز آینه تشکیل می‌شود. اگر جسم با سرعت v به آینه نزدیک شود، تصویر با سرعتی کمتر از آینه دور می‌شود. داریم

$$f \leq p \leq \infty \ ، \ f \leq q \leq ۲f \ ، \ v_q < v_p$$



شکل۲-۲۱

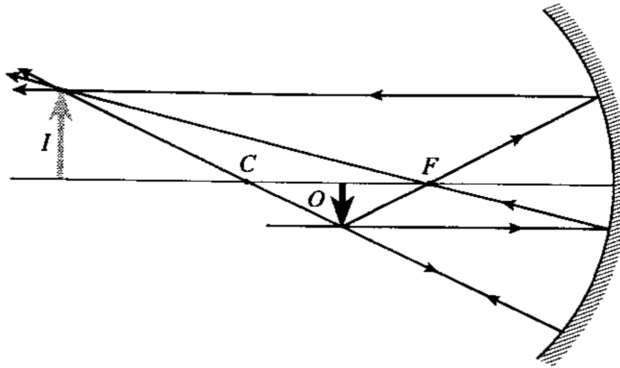
۳ـ شیء روی مرکز آینه ـ در این حالت به‌طوری که در شکل ۲-۲۲ مشاهده می‌شود تصویر حقیقی، وارونه و برابر طول جسم و روی مرکز است. یعنی، بین جسم و تصویر فاصله‌ای وجود ندارد.



شکل۲-۲۲

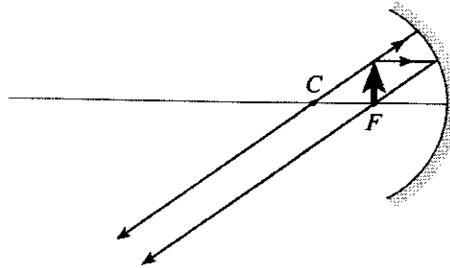
۴ـ شیء بین مرکز و کانون ـ در این حالت تصویر مطابق شکل ۲-۲۳ حقیقی، وارونه، بزرگتر و در فاصله‌ای دورتر از مرکز واقع است. داریم

$$f \leq p \leq ۲f \Longrightarrow ۲f \leq q \leq \infty \ ، \ v_q > v_p$$



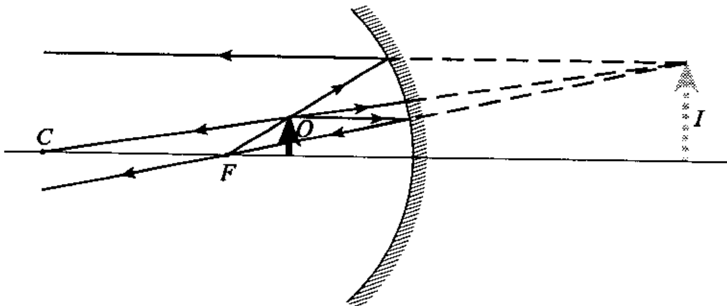
شکل۲-۲۳

۵ـ شیء در سطح کانونی ـ اگر شیء در سطح کانونی قرار داشته باشد، مطابق شکل ۲-۲۴ تصویر در بینهایت تشکیل خواهد شد.



شکل۲-۲۴

۶ـ شیء در فاصلهٔ کانونی ـ درصورتی که شیء مطابق شکل ۲-۲۵ در فاصلهٔ کانونی قرار داشته باشد، تصویر مستقیم، بزرگتر، مجازی و داخل آینه دیده می‌شود.



شکل۲-۲۵

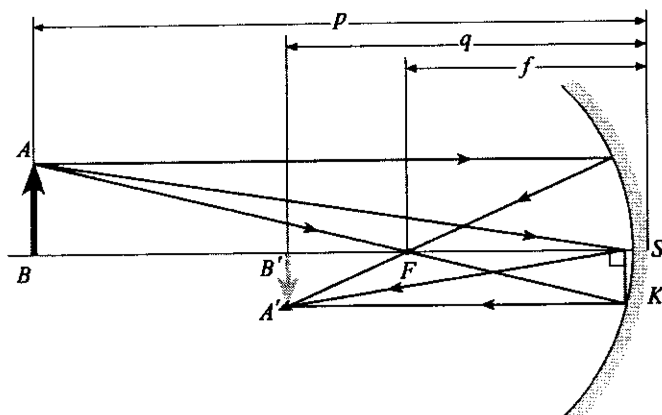
۲ـ۱۳ محاسبهٔ فرمول آینه‌های کاو

جسم AB را مطابق شکل ۲-۲۶ در فاصلهٔ p از آینهٔ کاوی به فاصلهٔ کانونی f قرار می‌دهیم و تصویر آن $A'B'$ را با استفاده از سه پرتو مشخص به‌دست می‌آوریم. دراین صورت بین p، q، f، AB و $A'B'$ رابطه‌های زیر برقرار است

$$\text{بزرگنمایی خطی}\quad m = \frac{A'B'}{AB} = \frac{q}{p}$$

و

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f}$$



شکل۲-۲۶

برای به دست آوردن رابطه‌های بالا می‌توان از تشابه مثلثهای ABS و $A'B'S$ استفاده کرد، داریم

$$\frac{A'B'}{AB} = \frac{SB'}{SB}$$

$$m = \frac{A'B'}{AB} = \frac{q}{p}$$

همچنین دو مثلث ABF و FSK مشابه‌اند و داریم

$$\frac{SK}{AB} = \frac{SF}{FB}$$

از آنجا که $SK = A'B'$ است، پس

$$\left.\begin{aligned}\frac{A'B'}{AB} &= \frac{f}{p-f}\\ \frac{A'B'}{AB} &= \frac{q}{p}\end{aligned}\right\} \Longrightarrow \frac{f}{p-f} = \frac{q}{p} \Longrightarrow fp = pq - fq$$

دو طرف این رابطه را بر pqf تقسیم می‌کنیم، داریم

$$fp + fq = pq$$

و از آنجا

$$\frac{۱}{q} + \frac{۱}{p} = \frac{۱}{f}$$

رابطهٔ بالا در موارد گوناگون صدق می‌کند. هرگاه هر یک از اندازه‌های q و f مجازی باشند در جایگزینی آنها علامت منفی در جلوی کمیت قرار می‌دهیم.

اگر رابطهٔ کلی آینه‌ها را برای آینهٔ تخت به‌کار بریم و به جای f در آینه تخت مقدار $f = \frac{R}{۲} = \infty$ را قرار دهیم نتیجه می‌گیریم که

$$\frac{۱}{p} + \frac{۱}{q} = \frac{۱}{f} = \frac{۱}{\infty} \Longrightarrow p = -q$$

دراین صورت $m = ۱$ است یعنی فاصلهٔ شیء تا آینهٔ تخت برابر فاصلهٔ تصویر تا آینهٔ تخت است. تصویر مجازی و طول آن با طول شیء برابر است.

مثال ۹. شیئی به طول ۲ سانتیمتر به فاصلهٔ ۳۰ سانتیمتر از آینهٔ کاوی به شعاع انحنای $R = ۲۰$ cm قرار دارد.

الف) فاصلهٔ تصویر تا آینه و فاصلهٔ شیء تا تصویر چقدر است؟

ب) طول تصویر و بزرگنمایی آن در این حالت چقدر است؟

حل: الف) فاصلهٔ کانونی برابر است با

$$f = \frac{R}{۲} = \frac{۲۰}{۲} = ۱۰ \text{ cm}$$

با استفاده از رابطهٔ $\frac{۱}{f} = \frac{۱}{q} + \frac{۱}{p}$ مقدار q برابر است با

$$\frac{۱}{۳۰} + \frac{۱}{q} = \frac{۱}{۱۰} \Longrightarrow \frac{۱}{q} = \frac{۱}{۱۰} - \frac{۱}{۳۰} \Longrightarrow q = \frac{۳۰ \times ۱۰}{۳۰ - ۱۰}$$

$$q = ۱۵ \text{ cm}$$

فاصلهٔ شیء تا تصویر برابر $BB' = p - q = ۳۰ - ۱۵ = ۱۵ \text{ cm}$ است.

ب) بزرگنمایی آینه و طول تصویر عبارت است از

$$m = \frac{q}{p} = \frac{۱۵}{۳۰} = \frac{۱}{۲}$$

$$m = \frac{A'B'}{AB} \Longrightarrow \frac{۱}{۲} = \frac{A'B'}{۲} \Longrightarrow A'B' = ۱ \text{ cm}$$

▲

مثال ۱۰. فاصلهٔ یک شیء تا تصویر مستقیم آن برابر ۴۵ سانتیمتر است. هرگاه بزرگنمایی خطی در این حالت برابر ۲ باشد، فاصلهٔ شیء و تصویر را تا کانون به‌دست آورید.

حل: چون تصویر مستقیم و مجازی و طول آن دو برابر طول شیء است، می‌توان نتیجه گرفت که آینه کاو و فاصلهٔ تصویر تا آینه دو برابر فاصلهٔ شیء تا آینه است، داریم

$$m = \frac{A'B'}{AB} = \frac{q}{p} \Longrightarrow ۲ = \frac{q}{p} \Longrightarrow q = ۲p$$

چون تصویر مجازی است پس در پشت آینه تشکیل می‌شود و داریم $p + q = ۴۵\,\text{cm}$ ، پس $۴۵ = p + ۲p \Longrightarrow p = ۱۵\,\text{cm}$ و $q = ۳۰\,\text{cm}$. با استفاده از رابطهٔ $\frac{۱}{f} = \frac{۱}{q} + \frac{۱}{p}$ و اینکه تصویر مجازی است نتیجه می‌گیریم

$$\frac{۱}{۱۵} - \frac{۱}{۳۰} = \frac{۱}{f}$$

و از آنجا

$$f = \frac{۱۵ \times ۳۰}{۳۰ - ۱۵} = ۳۰\,\text{cm}$$

فاصلهٔ بین شیء و تصویر آن تا کانون به ترتیب برابرند با $f - p = ۳۰ - ۱۵ = ۱۵\,\text{cm}$ و $q + f = ۳۰ + ۳۰ = ۶۰\,\text{cm}$.

▲

مثال ۱۱. فاصلهٔ شیئی تا تصویر حقیقی آن ۲۰ سانتیمتر است. اگر شعاع انحنای آینه ۱۵ سانتیمتر باشد فاصلهٔ شیء و تصویر را تا آینه به‌دست آورید. و همچنین نوع آینه و بزرگنمایی خطی آن را در این حالت پیدا کنید.

حل: چون تصویر حقیقی است پس آینه کاو است.

حالت اول ـ فرض می‌کنیم تصویر کوچکتر است، درنتیجه $q < p$ و داریم

$$p - q = ۲۰ \quad , \quad q = p - ۲۰$$

$$R = ۱۵\text{cm} \Longrightarrow f = \frac{R}{۲} = \frac{۱۵}{۲} = ۷/۵\,\text{cm}$$

با استفاده از رابطهٔ $\frac{۱}{f} = \frac{۱}{q} + \frac{۱}{p}$ می‌توان اندازه‌های p و q را به‌دست آورد

$$\frac{۱}{p} + \frac{۱}{p - ۲۰} = \frac{۱}{۷/۵} \Longrightarrow \frac{p - ۲۰ + p}{(p - ۲۰)p} = \frac{۱}{۷/۵}$$

$$(۲p - ۲۰)۷/۵ = p(p - ۲۰) \Longrightarrow ۱۵p - ۱۵۰ = p^۲ - ۲۰p$$

$$p^2 - 35p + 150 = 0 \Longrightarrow p = \frac{35 \pm \sqrt{1225 - 600}}{2}$$

$$p = \frac{35 \pm 25}{2} \Longrightarrow p = 30\ \text{cm} \ \text{یا}\ \ p = 5\,\text{cm} \ , \ q = 10\ \text{cm}$$

$p = 5$ قابل پذیرش نیست زیرا در این صورت شیء در فاصلهٔ کانونی قرار می‌گیرد و تصویر مجازی می‌شود که این برخلاف فرض مسئله است.

حالت دوم ـ اگر تصویر بزرگتر باشد، درنتیجه $q > p$ داریم

$$q - p = 20\ \text{cm} \ , \ p = q - 20$$

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f} \Longrightarrow \frac{1}{q - 20} + \frac{1}{q} = \frac{1}{7.5}$$

$$\frac{q + q - 20}{q(q - 20)} = \frac{1}{7.5} \Longrightarrow 15q - 150 = q^2 - 20q$$

$$q^2 - 35q + 150 = 0 \Longrightarrow q = \frac{+35 \pm \sqrt{1225 - 600}}{2}$$

پس

$$q = 30\ \text{cm} \ \text{یا}\ \ q = 10\ \text{cm}$$

درنتیجه

$$p = 10\ \text{cm} \ \text{یا}\ \ p = 10 - 20 = -10\ \text{cm}$$

در حالت اول

$$m_1 = \frac{q_1}{p_1} = \frac{10}{30} \Longrightarrow m_1 = \frac{1}{3}$$

در حالت دوم

$$m_2 = \frac{q_2}{p_2} = \frac{30}{10} \Longrightarrow m_2 = 3$$

▲

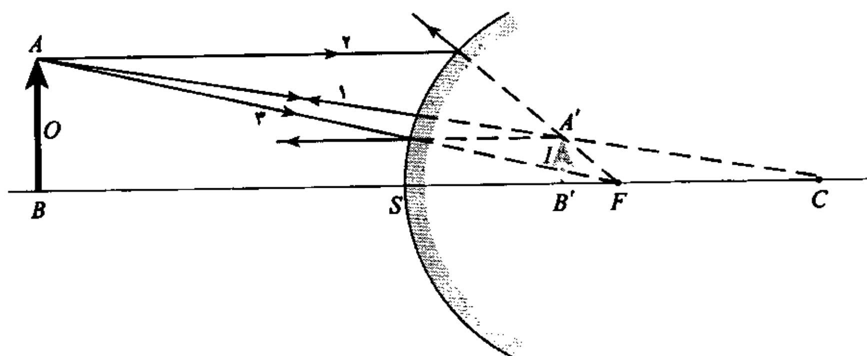
۲ـ۱۴ رسم تصویر در آینهٔ کوژ یا محدب

در آینه‌های کوژ برای شیء حقیقی همواره تصویر مجازی، کوچکتر، مستقیم و در فاصلهٔ کانونی دیده می‌شود. با استفاده از سه پرتو مشخص مطابق شکل ۲-۲۷ می‌توان تصویر را به‌دست آورد. با هر دو پرتو از سه پرتو زیر وضع تصویر کاملاً مشخص می‌شود.

۱. پرتوی که از بالای شیء به آینه می‌تابد و امتدادش از مرکز آینه می‌گذرد، روی خودش بازتابیده می‌شود، پرتو ۱.

۲. پرتوی که از بالای شیء موازی با محور اصلی به آینه بتابد پس از بازتاب از کانون مجازی این آینه می‌گذرد، پرتو ۲.

۳. پرتوی که از بالای جسم به سوی کانون مجازی می‌تابد، پس از رسیدن به آینه موازی با محور اصلی بازتابیده می‌شود، پرتو ۳.



شکل۲-۲۷

مثال ۱۲. شیئی به فاصلهٔ ۵۰ سانتیمتر از آینهٔ کوژی قرار دارد. اگر طول تصویر مجازی آن نصف طول جسم باشد، فاصلهٔ کانونی آینه چقدر است؟

حل: داریم

$$m = \frac{A'B'}{AB} = \frac{q}{p} \Longrightarrow A'B' = \frac{۱}{۲}AB$$

$$m = \frac{\frac{۱}{۲}AB}{AB} \Longrightarrow m = \frac{۱}{۲}$$

$$\frac{۱}{۲} = \frac{q}{p} \Longrightarrow p = ۲q \Longrightarrow ۵۰ = ۲q \Longrightarrow q = ۲۵\,\text{cm}$$

با استفاده از رابطهٔ $\frac{۱}{f} = \frac{۱}{q} + \frac{۱}{p}$ داریم

$$\frac{۱}{۵۰} - \frac{۱}{۲۵} = -\frac{۱}{f}$$

در این رابطه کانون و تصویر در آینهٔ کوژ، مجازی هستند و علامت منفی را به‌کار برده‌ایم، پس

$$\frac{۱-۲}{۵۰} = -\frac{۱}{f} \Longrightarrow f = ۵۰\ \text{cm}$$

▲

مثال ۱۳. تصویر مستقیم شیئی در یک آینهٔ خمیده یک سوم طول شیء است. هرگاه فاصلهٔ شیء تا تصویر ۸۰ سانتیمتر باشد،

الف) شعاع آینه و نوع آن را تعیین کنید.

ب) فاصلهٔ شیء و تصویر را تا کانون به‌دست آورید.

حل: الف) می‌دانیم در آینه‌های کوژ همواره تصویر مستقیم و مجازی و کوچکتر است، پس نوع آینه کوژ (محدب) است. با استفاده از فرمول بزرگنمایی خطی نتیجه می‌گیریم

$$m = \frac{A'B'}{AB} = \frac{q}{p}$$

$$\frac{۱}{۳} = \frac{q}{p} \Longrightarrow p = ۳q$$

چون تصویر مجازی و پشت آینه تشکیل می‌شود درنتیجه فاصلهٔ شیء تا تصویر برابر است با

$$BB' = p + q \Longrightarrow ۸۰ = ۳q + q$$

$$q = ۲۰\ \mathrm{cm}, \qquad p = ۶۰\ \mathrm{cm}$$

فاصلهٔ کانونی و شعاع آینهٔ کوژ برابر است با

$$\frac{۱}{p} + \frac{۱}{q} = \frac{۱}{f} \Longrightarrow \frac{۱}{۶۰} - \frac{۱}{۲۰} = -\frac{۱}{f}$$

در این رابطه کانون و تصویر مجازی‌اند و از این‌رو علامت منفی به‌کار برده‌ایم، پس

$$\frac{۱-۳}{۶۰} = -\frac{۱}{f}$$

$$\Longrightarrow f = ۳۰\ \mathrm{cm}$$

شعاع آینه کوژ برابر $R = ۲f = ۶۰\ \mathrm{cm}$ است.

ب) فاصلهٔ شیء و تصویر تا کانون آینه به ترتیب برابر است با

$$p + f = ۶۰ + ۳۰ = ۹۰\ \mathrm{cm}$$

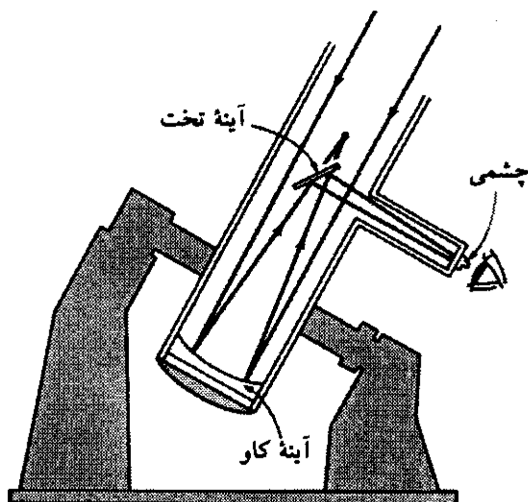
$$f - q = ۳۰ - ۲۰ = ۱۰\ \mathrm{cm}$$



۲ـ۱۵ کاربرد آینه‌های خمیده

آینه‌های کاو را در دندانپزشکی، دوربین‌های بازتابی، کوره‌های آفتابی و برای اصلاح سر و صورت به‌کار می‌برند. شکل ۲-۲۸ نموداری از یک دوربین بازتابی را که برای رصد کردن اجرام آسمانی به کار می‌رود نشان می‌دهد.

از آینه‌های کوژ به دلیل میدان دید وسیعی که دارند در اتومبیلها، شکل ۲-۲۹، و نیز در پیچ جاده‌ها استفاده می‌شود.



شکل۲-۲۸



شکل۲-۲۹

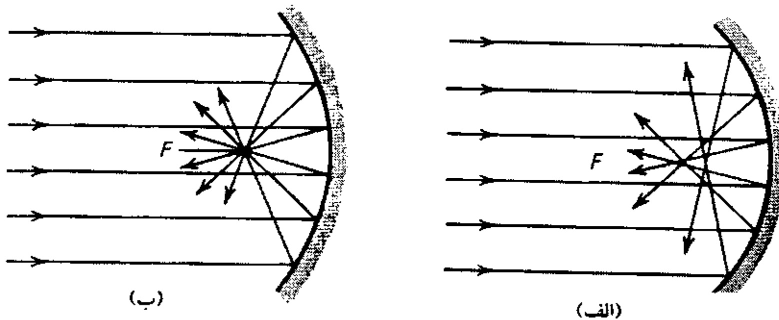
۲ـ۱۶ ابیراهی

در این فصل تصویر در آینه‌های مقعر و محدب را در شرایطی آرمانی درنظر گرفتیم و برای آنها یک نقطهٔ کانونی تعریف کردیم، درصورتی‌که در عمل چنین نیست و تصویر در آینه‌ها اشکالاتی همراه دارد

که آن را ابیراهی[1] می‌نامند.

هرگاه مطابق شکل ۲-۳۰ الف، پرتوهایی به آینهٔ مقعر بتابند پرتوهای نزدیک به محور پس از بازتاب از آینه در نقطهٔ دورتری نسبت به آینه یکدیگر را قطع می‌کنند درصورتی‌که پرتوهای دورتر از محور اصلی پس از بازتاب از آینه در نقطهٔ نزدیکتری یکدیگر را قطع می‌کنند. بنابراین به جای آنکه آینه یک نقطهٔ کانونی داشته باشد، یک محدودهٔ کانونی خواهد داشت، که ابیراهی کروی[2] آینه نامیده می‌شود.

برای از بین بردن ابیراهی کروی، از آینه‌های کروی‌ای استفاده می‌شود که دهانهٔ آنها کوچک باشد یا آنکه از آینهٔ شلجمی مطابق شکل ۲-۳۰ ب استفاده می‌شود. در آینهٔ شلجمی نورهایی که به سطح آن می‌تابند پس از بازتاب همه از یک نقطهٔ کانونی می‌گذرند.



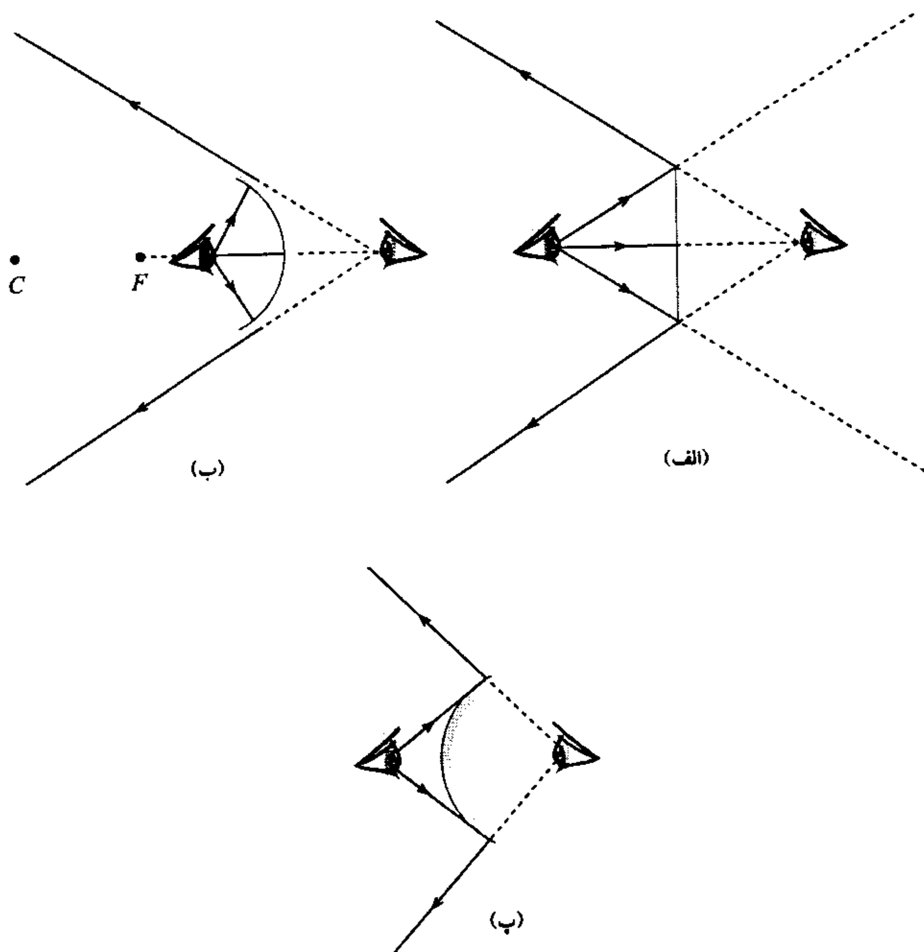
شکل۲-۳۰

۲ـ۱۷ میدان دید آینه‌ها

هرگاه آینه‌ای را جلو چشم خود قرار دهید، تصویر اشیایی را که در بخشی از فضای جلو آینه قرار دارند در آینه مشاهده می‌کنید. این بخش از فضا را میدان آینه می‌نامند. بزرگی میدان آینه به نوع آینه و فاصلهٔ ناظر تا آینه و بزرگی سطح آینه بستگی دارد. در شکلهای ۲-۳۱ الف، ب و پ به ترتیب میدان آینه تخت، کاو و کوژ دیده می‌شود.

برای آنکه میدان آینه را مشخص کنیم، تصویر چشم را در آینه به‌دست می‌آوریم و آن را با خطوطی به لبهٔ اطراف آینه وصل می‌کنیم. دراین‌صورت میدان آینه فضای محدود به این خطوط و سطح آینه خواهد بود. مشخص است که هر اندازه تصویر چشم به آینه نزدیکتر باشد میدان آینه بزرگتر خواهد بود. چنانچه سطح آینه‌های تخت، کاو و کوژ و فاصلهٔ چشم از آنها برابر باشد، میدان دید آینهٔ کوژ بزرگتر است.

1- abberation 2- spherical abberation



شکل۲-۳۱

خلاصهٔ فصل

وقتی پرتوهای نور از یک محیط شفاف به محیط شفاف دیگری برسند ممکن است قسمتی از پرتوها جذب شوند یا بازتاب پیدا کنند یا پس از انحراف مسیر وارد محیط دیگر شوند. سطحی که پرتوهای تابیده را بازتاب می‌دهد آینه نامیده می‌شود. هرگاه یک دسته پرتو موازی به سطحی بتابد و به‌طور موازی بازتاب پیدا کند، بازتاب را منظم و آن سطح را آینهٔ تخت می‌نامند. در غیر این صورت بازتاب نامنظم نامیده می‌شود.

در بازتاب نور در هر سطحی همواره زاویهٔ تابش و زاویهٔ بازتاب با هم برابرند. پرتو تابیده و پرتو بازتابیده و خط عمود در نقطهٔ تابش بر سطح بازتاب در صفحه‌ای قرار دارند که صفحهٔ تابش یا فرود نامیده می‌شود.

مسیر واقعی بین دو نقطه که یک باریکهٔ نور می‌پیماید راهی است که در کمترین زمان پیموده می‌شود و با استفاده از این اصل می‌توان قانونهای بازتاب و شکست نور را بیان کرد.

در یک آینهٔ تخت همواره شیء و تصویر نسبت به آینه قرینه‌اند، به عبارت دیگر طول شیء و طول تصویر با هم برابرند. فاصلهٔ شیء تا آینه برابر فاصلهٔ تصویر تا آینه است. در آینهٔ تخت تصویر مستقیم و مجازی و بزرگنمایی خطی همواره برابر یک است: هرگاه آینهٔ تخت را با سرعت v از شیئی دور کنیم تصویر آن با سرعت $۲v$ از جسم و با سرعت $۲v$ از آینه دور می‌شود. اگر شیء و آینه را با سرعت v در خلاف جهت یکدیگر از هم دور کنیم، تصویر با سرعت $۳v$ جابه‌جا می‌شود و سرعت نسبی شیء و تصویر $۴v$ خواهد بود. اگر امتداد یک پرتو تابیده ثابت بماند و آینه را حول محوری که روی صفحهٔ آینه است به اندازهٔ α درجه بچرخانیم پرتو بازتابیده به اندازهٔ ۲α می‌چرخد.

آینهٔ کروی بخشی از سطح یک کره است که نور را بازتابیده می‌کند. اگر سطح داخلی کره آینه باشد آینه را کاو یا مقعر و اگر سطح بیرونی آن آینه باشد آینه را کوژ یا محدب می‌نامند. خط عمود بر مرکز آینه را محور اصلی آینه می‌نامند. هرگاه پرتوها موازی محور اصلی بر آینهٔ کاو بتابند پرتوها بازتابیده شده و در یک نقطه همگرا می‌شوند. این نقطه را کانون اصلی آینه می‌نامند. اگر پرتوها موازی با محور اصلی به آینهٔ کوژ بتابند به طریقی بازتابیده می‌شوند که امتداد آنها از یک نقطه می‌گذرد. آن نقطه را کانون اصلی آینهٔ کروی می‌نامند. کانون در آینه‌های کاو حقیقی و در آینه‌های کوژ مجازی است و بین رأس و مرکز انحنای آینه قرار دارد. فاصلهٔ کانونی در آینهٔ کروی نصف شعاع آینه است. در آینهٔ کوژ تصویر یک شیء حقیقی همواره مستقیم، مجازی، کوچکتر و بین کانون و آینه قرار دارد. در آینهٔ کاو اگر جسم حقیقی و دورتر از کانون باشد، تصویرش حقیقی و وارونه است و اگر در فاصلهٔ کانونی قرار گیرد تصویرش مجازی، مستقیم و بزرگتر است. از جمله کاربردهای آینهٔ کاو در دندانپزشکی و کوره‌های آفتابی است و از آینهٔ کوژ در پیچ جاده‌ها و در اتومبیلها استفاده می‌شود.

هدفهای آموزشی

اکنون که این فصل را به پایان رسانیده‌اید باید بتوانید

- اصطلاحهای زاویهٔ تابش، زاویهٔ بازتاب، بازتاب منظم و غیرمنظم را تعریف کنید.
- قانونهای بازتاب نور را بیان کنید.
- اصل فرما را بیان کنید و با استفاده از آن قانونهای بازتاب نور را ثابت کنید.
- واژه‌های آینهٔ کروی، آینهٔ کاو و کوژ، دهانهٔ آینه، محور اصلی و فرعی، کانون و سطح کانونی، رأس آینه و بزرگنمایی آینه را تعریف کنید .
- با مشخص بودن جای شیء، تصویر آن را در آینه کاو و کوژ به کمک پرتوهای مشخصی رسم کنید.
- رابطهٔ بین فاصلهٔ شیء تا آینه و فاصلهٔ تصویر تا آینه و فاصلهٔ کانونی را تعیین کنید.

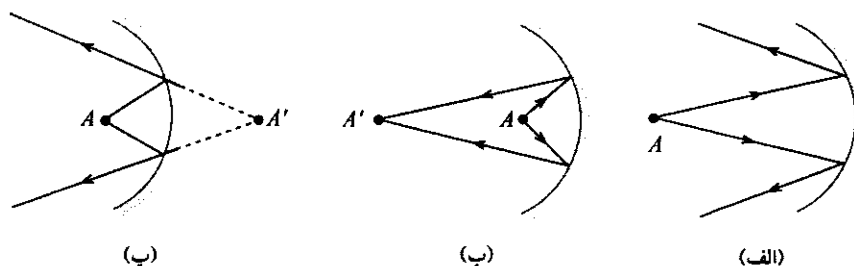
خود را بیازمایید

پرسشها

۱. یک شمع روشن را مقابل یک آینه قرار دهید. با رسم پرتوهایی چگونگی ایجاد تصویر را بر صفحهٔ کاغذ نشان دهید.

۲. چشمهٔ نقطه‌ای نور مقابل آینهٔ تختی قرار دارد. علت مشاهدهٔ تصویر مجازی آن در آینه چیست؟ آن را شرح دهید.

۳. در شکل ۲-۳۲ الف، ب و پ فاصلهٔ چشمهٔ نور نقطه‌ای نسبت به فاصلهٔ کانونی چگونه است؟ به عبارت دیگر درکدام شکل $p > f$، درکدام $p = f$ و درکدام $p < f$ است.



شکل۲-۳۲

۴. با رسم میدان آینه‌های تخت، کاو وکوژ آنها را با هم مقایسه کنید.

۵. آینهٔ تختی حول محوری که در صفحهٔ آن است به اندازهٔ °۳۰ می‌چرخد. چرخش پرتو بازتابیدهٔ یک پرتو نور را که با زاویهٔ °۲۰ به آینه تابیده است پیش از چرخش و پس از آن رسم کنید. چرخش پرتو بازتابیده چند درجه است؟

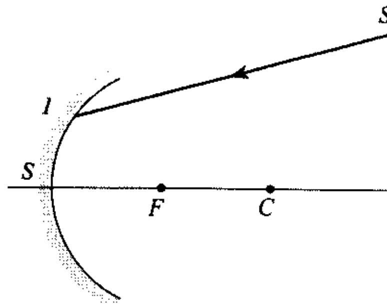
۶. آینه تخت را در چه ابزارهایی و درکجا به‌کار می‌برند؟

۷. کلمه FIRE را اغلب در جلوی ماشینهای آتش‌نشانی به این صورت ƎЯIꟻ می‌نویسند. چرا؟ توضیح دهید.

۸. کانون، سطوح کانونی و بزرگنمایی خطی را تعریف کنید.

۹. تصویر شیئی راکه در مقابل آینهٔ کوژ است رسم کنید و ویژگیهای آن را بنویسید.

۱۰. بازتاب پرتو SI را در شکل ۲-۳۳ رسم کنید.



شکل۲-۳۳

۱۱. درکدام آینه فاصله شیء و تصویر می‌تواند صفر باشد؟ ویژگیهای تصویر را در هر حالت بنویسید.

۱۲. شیء را درکجا قرار دهیم تا بزرگنمایی خطی آن دو برابر شود؟

الف) تصویر مجازی باشد   ب) تصویر حقیقی باشد

۱۳. ویژگیهای دو آینهٔ کاو و کوژ را با هم مقایسه کنید.

۱۴. در چه نوع آینه‌ای طول تصویر نصف طول شیء است؟ توضیح دهید.

۱۵. در چه شرایطی بزرگنمایی خطی $m = ۱$ و فاصلهٔ شیء تا تصویر برابر صفر است. این شرایط را برای دو آینهٔ کوژ و کاو بررسی کنید.

۱۶. هرگاه در یک آینهٔ خمیده فاصلهٔ شیء تا تصویر $p - q$ باشد، ویژگیهای تصویر و نوع آینه را بررسی کنید.

۱۷. اگر در یک آینهٔ خمیده فاصلهٔ شیء تا تصویر $p + q$ باشد، ویژگیهای تصویر را در هر دو آینهٔ کاو و کوژ بررسی کنید.

۱۸. در یک آینهٔ خمیده کدامیک از کمیتهای زیر همواره ثابت و کدامیک متغیرند؟

فاصلهٔ کانونی، فاصلهٔ شیء تا آینه، بزرگنمایی خطی، فاصلهٔ تصویر تا آینه، شعاع آینه، فاصلهٔ شیء تا کانون، فاصلهٔ شیء تا تصویر، فاصلهٔ تصویر تا کانون.

۱۹. اگر فاصلهٔ جسم تا کانون آینه را با a و فاصلهٔ تصویر تا کانون را با a' نشان دهیم، ثابت کنید که $aa' = f^۲$ است. این رابطه به رابطهٔ نیوتون معروف است.

۲۰. اگر رابطهٔ $\frac{۱}{f} = \frac{۱}{q} + \frac{۱}{p}$ را برای آینهٔ تخت $(f = \infty)$ به‌کار برید چه نتیجه‌ای حاصل می‌شود؟ بحث کنید.

پرسشهای چهارگزینه‌ای

۱. زاویهٔ تابش یک پرتو در آینهٔ تخت ۴۰° است. اگر آینه را حول محوری که در سطح آن است ۱۰° بچرخانیم، مجموع زاویهٔ تابش و زاویهٔ بازتاب جدید چقدر است؟

الف) ۵۰ یا ۳۰   ب) ۱۰۰ یا ۸۰   پ) ۱۰۰ یا ۶۰   ت) ۸۰ یا ۶۰

۲. شخصی با سرعت ۵ متر بر ثانیه در امتدادی که با سطح آینه زاویهٔ °۳۰ می‌سازد به آینه نزدیک می‌شود. این شخص با چه سرعتی به تصویرش نزدیک می‌شود؟

الف) ۱۰ m/s

ب) ۵ m/s

پ) $۵\sqrt{۳}$ m/s

ت) $\frac{۵\sqrt{۳}}{۲}$ m/s

۳. آینهٔ تخت از یک شیء همیشه تصویری ایجاد می‌کند که

الف) کاملاً شبیه شیء است.

ب) مجازی و روشنتر از شیء است.

پ) قرینهٔ شیء نسبت به آینه و حقیقی است.

ت) مستقیم و مساوی شیء است.

۴. هنگامی که شخصی به آینهٔ تخت نزدیک می‌شود؛ اندازهٔ تصویرش

الف) بزرگ می‌شود.

ب) کوچک می‌شود.

پ) ثابت می‌ماند.

ت) به فاصلهٔ شخص تا آینه بستگی دارد.

۵. یک گلولهٔ کوچک و صیقلی بر سطح افقی میزی بر خط راست حرکت می‌کند. یک آینهٔ تخت با سطح میز باید چه زاویه‌ای بسازد تا تصویر گلوله در امتداد قائم متحرک دیده شود؟

الف) °۳۰

ب) °۴۵

پ) °۶۰

ت) °۹۰

۶. شخصی به فاصلهٔ ۳ متر از یک آینهٔ قائم که به دیوار نصب شده است، قرار دارد. این شخص تصویر دیوار پشت سر خود را که در یک متری او است در چند متری خود در آینه می‌بیند؟

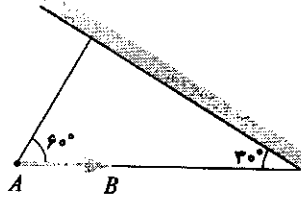
الف) ۷   ب) ۸   پ) ۶   ت) ۴

۷. زاویهٔ تابش یک پرتو به آینهٔ تخت °۴۵ است. اگر آینه را در سطح خود به اندازهٔ °۲۰ بچرخانیم، زاویهٔ بازتاب در وضع جدید چند درجه است؟

الف) ۲۰   ب) ۴۵   پ) ۶۵   ت) ۹۰

۸. در شکل ۲-۳۴ جسم AB چه زاویه‌ای با تصویر خود در آینهٔ تخت می‌سازد؟

الف) ۹۰   ب) ۶۰   پ) ۱۸۰   ت) ۳۰



شکل۲-۳۴

۹. آینه تختی به مساحت ۵۰ سانتیمتر مربع برکف اتاقی قرار دارد. چراغ کوچکی را به چه فاصله‌ای از آینه و بالای آن آویزان کنیم تا ۸۰۰ سانتیمتر مربع از سقف اتاق که در ارتفاع ۳ متری است پس از بازتاب در آینه روشن شود؟

الف) ۰٫۵ متری

ب) ۲ متری

پ) ۱٫۵ متری

ت) ۱ متری

۱۰. طول قد شخصی ۱۶۰ سانتیمتر و فاصلهٔ چشمش تا کف پایش ۱۵۴ سانتیمتر است. کمترین طول آینه و بیشترین ارتفاع پایین آینه را برای آنکه شخص تمام قد خود را در آن ببیند پیدا کنید.

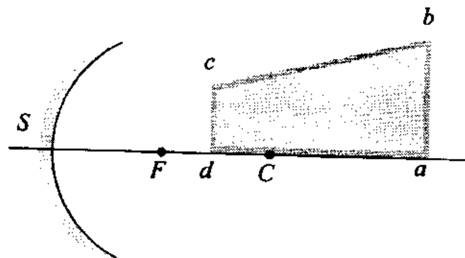
الف) ۸۰ و ۷۷ سانتیمتر

ب) ۷۷ و بیش از ۷۷ سانتیمتر

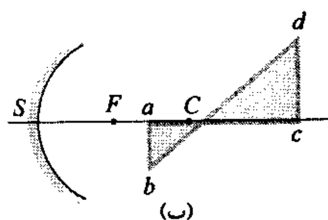
پ) ۸۰ و بیش از ۸۰ سانتیمتر

ت) ۷۷ و ۸۰ سانتیمتر

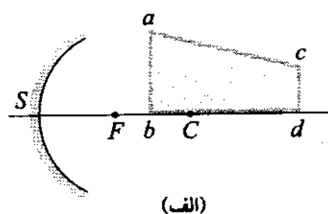
۱۱. شیئی مطابق شکل ۲-۳۵ در برابر آینهٔ کاوی قرار دارد.
تصویر آن چگونه تشکیل می‌شود؟



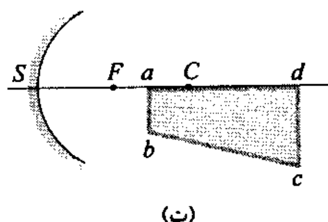
شکل۲-۳۵



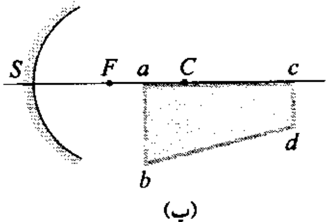
(ب)



(الف)



(ت)



(پ)

۱۲. شیئی را به فاصلهٔ ۱۵ سانتیمتری یک آینهٔ کوژ به شعاع ۲۰ سانتیمتر قرار می‌دهیم. تصویر شیء در چه فاصله‌ای از کانون قرار دارد؟

الف) ۲ ب) ۴ پ) ۶ ت) ۸

۱۳. در کدام آینه همیشه طول تصویر برابر طول شیء است؟

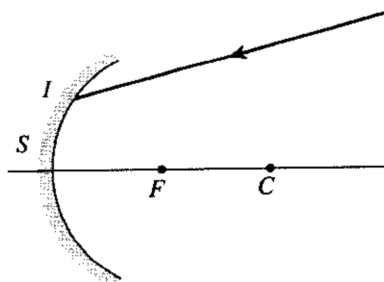
الف) فقط آینهٔ کاو. ب) آینهٔ کوژ.

پ) فقط آینهٔ تخت. ت) آینهٔ تخت و کاو.

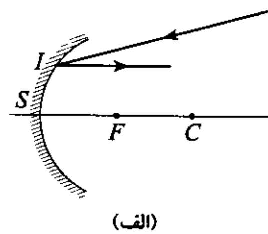
۱۴. فاصلهٔ شیئی از تصویرش در یک آینهٔ کوژ ۳۰ سانتیمتر است. اگر طول تصویر نصف طول شیء باشد، شعاع آینه چند سانتیمتر است؟

الف) ۴۰ ب) ۳۰ پ) ۲۰ ت) ۱۰

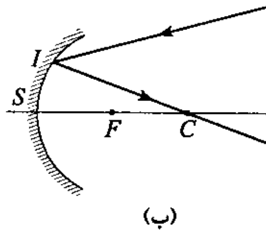
۱۵. یک پرتو نور مطابق شکل ۲-۳۶ به آینهٔ کاوی برخورد می‌کند. پرتو بازتابیده کدام است؟



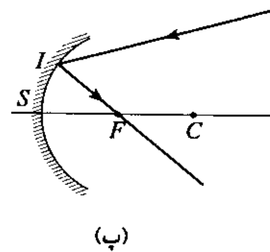
شکل۲-۳۶



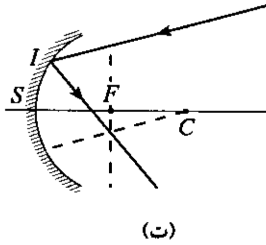
(الف)



(ب)



(پ)



(ت)

۱۶. میدان کدام آینه برای فاصلهٔ مشخص یک ناظر بزرگتر است؟ (سطح آینه‌ها برابر است.)

الف) تخت　　ب) کوژ　　پ) کاو　　ت) شلجمی

۱۷. شیئی از فاصلهٔ دور با سرعت v به آینهٔ کاوی نزدیک می‌شود. اندازه و سرعت تصویر آن چگونه است؟

الف) بزرگتر از v است.

ب) ابتدا بزرگتر از v و سپس کوچکتر از v است.

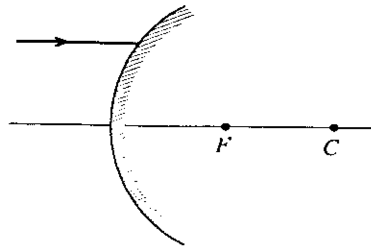
پ) کوچکتر و کمتر از v است.

ت) ابتدا کوچکتر از v و سپس بزرگتر از v است.

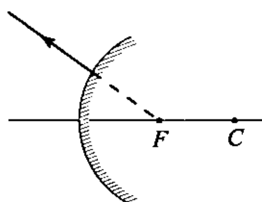
۱۸. شیئی به فاصلهٔ $p = R$ از آینهٔ کوژی به شعاع R قرار دارد. بزرگنمایی آینه در این حالت چقدر است؟

الف) $\frac{۲}{۳}$　　ب) $\frac{۳}{۲}$　　پ) $\frac{۱}{۳}$　　ت) $\frac{۱}{۲}$

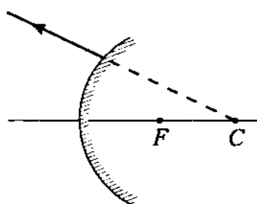
۱۹. پرتو نور مطابق شکل ۲-۳۷ به آینهٔ کوژی برخورد می‌کند. پرتو بازتابیده کدام است؟



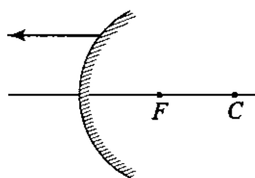
شکل ۲-۳۷



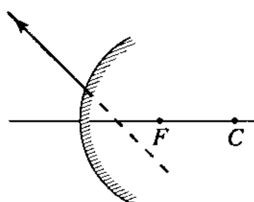
(الف)



(ب)



(پ)



(ت)

۲۰. شیئی از فاصلهٔ دور بتدریج تا مرکز آینهٔ کاو به آن نزدیک می‌شود. تصویر آن چگونه تغییر می‌کند؟

الف) از کانون تا مرکز. ب) از آینه تا کانون.

پ) از کانون تا آینه. ت) از مرکز تا کانون.

۲۱. شیئی به فاصلهٔ R از یک آینهٔ کاو قرار دارد. بزرگنمایی تصویر آن چقدر است؟

الف) $\frac{۳}{۲}$ ب) $\frac{۱}{۲}$ پ) $\frac{۱}{۳}$ ت) ۱

۲۲. آینهٔ کاوی از یک شیء تصویری حقیقی و سه برابر شیء روی پرده‌ای تشکیل می‌دهد. شعاع آینه چند سانتیمتر است؟ پرده در فاصلهٔ ۶۰ سانتیمتری از شیء قرار دارد.

الف) ۱۸۰ ب) ۹۰ پ) ۴۵ ت) ۲۲/۵

۲۳. شیئی در فاصلهٔ یک سانتیمتری از کانون آینهٔ کاوی قرار دارد و تصویر حقیقی آن به فاصلهٔ ۹ سانتیمتر از کانون تشکیل می‌شود. شعاع آینه چند سانتیمتر است؟

الف) ۶ ب) ۳ پ) ۱۳ ت) ۹

۲۴. تصویری که آینهٔ کوژ از شیء حقیقی تشکیل می‌دهد؛ همیشه

الف) وارونه و مجازی است. ب) حقیقی و وارونه است.

پ) مجازی و بزرگتر است. ت) مستقیم و کوچکتر است.

۲۵. شیئی به فاصلهٔ ۵ سانتیمتر جلوی یک آینهٔ کروی قرار دارد. اندازهٔ تصویر حاصل دو برابر شیء و مستقیم است. تصویر در چه فاصله‌ای از آینه قرار دارد؟ حقیقی است یا مجازی؟

الف) ۲/۵ سانتیمتر، حقیقی ب) ۱۰ سانتیمتر، مجازی

پ) ۲/۵ سانتیمتر، مجازی ت) ۱۰ سانتیمتر، حقیقی

۲۶. شیئی در ۴۰ سانتیمتری آینهٔ کاوی به شعاع انحنای ۵۰ سانتیمتر قرار دارد. تصویر این شیء چگونه است؟

الف) حقیقی، مستقیم، بزرگتر

ب) حقیقی، مستقیم، کوچکتر

پ) حقیقی، وارونه، بزرگتر

ت) حقیقی، وارونه، کوچکتر

۲۷. فاصله شیئی تا تصویر $q - p$ است. کدام گزینه قابل پذیرش است؟

الف) آینه کاو، شیء بزرگتر، تصویر مستقیم

ب) آینه کاو، شیء کوچکتر، تصویر وارونه

پ) آینه کوژ، شیء بزرگتر، تصویر مجازی

ت) آینهٔ کوژ، تصویر کوچکتر، تصویر مستقیم

۲۸. شیئی مقابل آینهٔ کوژی قرار دارد و از آن تصویری در آینه دیده می‌شود. هرگاه شیء را به آینه نزدیک کنیم تصویر آن

الف) از آینه دور و کوچکتر می‌شود.

ب) از آینه دور و بزرگتر می‌شود.

پ) به آینه نزدیک و بزرگتر می‌شود.

ت) به آینه نزدیک و کوچکتر می‌شود.

۲۹. اگر تصویر در آینهٔ کاو نسبت به شیء مستقیم و طولش ۳ برابر طول شیء باشد،

الف) شیء حقیقی و تصویر مجازی است.

ب) شیء و تصویر هر دو حقیقی‌اند.

پ) شیء و تصویر هر دو مجازی‌اند.

ت) شیء مجازی و تصویر حقیقی است.

۳۰. کدامیک از دستگاههای نوری زیر از یک شیء حقیقی تصویری مجازی، بزرگتر و مستقیم نسبت به شیء می‌دهد؟

الف) آینهٔ تخت　　ب) آینهٔ کوژ　　پ) آینهٔ کاو　　ت) عدسی واگرا

۳۱. کدام گزینه درست است؟

الف) اگر در محل تشکیل تصویر مجازی یک صفحهٔ حساس عکاسی قرار دهیم، صفحه متأثر می‌شود.

ب) اگر چشم در مسیر پرتوهای واگرا قرار گیرد تصویر مجازی دیده می‌شود.

پ) اگر چشم در محل تصویر مجازی قرار گیرد، تصویر دیده می‌شود.

ت) اگر در مسیر پرتوهای همگرا، آینهٔ تختی قرار دهیم تصویر مجازی تشکیل می‌شود.

تمرینها

۱. یک چشمهٔ نوری نقطه‌ای و دو تصویر حاصل از آن در دو آینهٔ تخت سه رأس مثلث متساوی‌الاضلاعی را تشکیل می‌دهند. محل آینه‌ها را نسبت به چشمه تعیین کنید و زاویهٔ بین آنها را به‌دست آورید.

پاسخ: 120°

۲. شخصی با قد ۱۶۰ سانتیمتر می‌خواهد آینه‌ای بخرد که بتواند تمام قد خود را در آن ببیند.

الف) حداقل طول آینه باید چقدر باشد؟

ب) فاصلهٔ پایینترین قسمت آینه تا زمین باید چقدر باشد؟

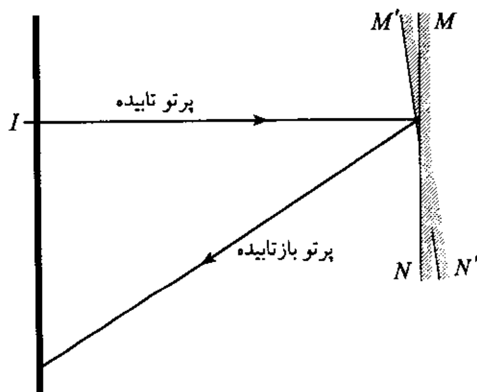
پاسخ: ۸۰ cm، نصف فاصلهٔ چشم شخص تا کف پایش

۳. زاویهٔ بین دو آینهٔ تخت 30° است. تعداد تصویرهای یک شیء در این دو آینه را مشخص کنید. نشان دهید که همهٔ تصویرها و شیء روی دایره‌ای قرار دارند که مرکز آنها محل شیء و شعاع آینه برابر فاصلهٔ شیء تا محل تقاطع دو آینه است.

پاسخ: ۱۱

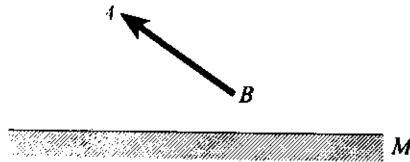
۴. مطابق شکل ۲-۳۸ آینهٔ MN که در فاصلهٔ یک متری یک دیوار و موازی با آن قرار دارد لکهٔ روشن I را عمود بر آینه ایجاد کرده است. هرگاه آینه 8° بچرخد و به وضعیت $M'N'$ درآید، لکهٔ I چقدر تغییر مکان می‌دهد؟

پاسخ: ۲۸٫۷ cm



شکل۲-۳۸

۵. در شکل ۲-۳۹ با ترسیم نشان دهید که چشم یک ناظر باید در چه محلی قرارگیرد تا همهٔ تصویر شیء AB در آینهٔ تخت M دیده شود.



شکل۲-۳۹

۶. آینهٔ کاوی از یک شیء، تصویری روی پرده تشکیل می‌دهد. اگر فاصلهٔ شیء از پرده ۸۰ سانتیمتر و طول تصویر ۵ برابر طول شیء باشد،

الف) فاصلهٔ شیء و تصویر از آینه و فاصلهٔ کانونی آینه را به‌دست آورید.

ب) آینهٔ تختی را باید در چه فاصله‌ای از آینه کاوی قرار دهیم تا تصویر نهایی آینهٔ تخت در مرکز آینهٔ کاو تشکیل شود؟

پاسخ: $f = ۳۱/۲۵\,\text{cm},\ \ q = ۱۲۵\,\text{cm},\ \ p = ۲۵\,\text{cm}$

۷. در یک آینهٔ خمیده فاصله شیء و تصویر ۱۰ سانتیمتر و فاصلهٔ تصویر وارونهٔ آن تا آینه ۵۰ سانتیمتر است. نوع آینه و فاصلهٔ کانونی و فاصلهٔ شیء را تا آینه به دست آورید.

پاسخ: آینهٔ کاو، $f = ۸/۶\,\text{cm}$، $p = ۱۰\,\text{cm}$

۸. طول تصویر شیئی در آینهٔ کاو $\frac{۱}{۴}$ طول شیء است. اگر شیء را به اندازهٔ ۵ سانتیمتر به آینه نزدیک کنیم، طول تصویر نصف طول شیء می‌شود. فاصلهٔ کانونی این آینه و فاصلهٔ شیء و تصویر را نسبت به آینه در هر دو حالت به‌دست آورید.

پاسخ: $q' = ۳/۷۵,\ \ p' = ۷/۵,\ \ f = ۲/۵۰\,\text{cm},\ \ p = ۱۲/۵۰\,\text{cm},\ \ q = ۳/۱۲۵$

۹. شیئی را یکبار در فاصلهٔ ۵۰ سانتیمتر و بار دیگر در فاصلهٔ ۲۰ سانتیمتر از آینهٔ کاوی به شعاع ۶۰ سانتیمتر قرار می‌دهیم.

الف) نسبت طول تصویر در حالت دوم را به حالت اول پیدا کنید.

ب) نوع تصویر و فاصلهٔ آن را تا آینه و بزرگنمایی دستگاه را در هر دو حالت پیدا کنید.

پاسخ: $۲۲\,\text{cm},\ \ ۲۷\,\text{cm}$

۱۰. شعاع انحنای آینهٔ کاوی ۸۰ سانتیمتر است. اگر بزرگنمایی تصویر ۲/۵ باشد، فاصلهٔ شیء و تصویر تا آینه چقدر است؟

پاسخ: $q = ۱۶۰\,\text{cm},\ \ p = ۶۴\,\text{cm}$

۱۱. شخصی می‌خواهد با آینه صورت خود را ۱/۵ برابر بزرگتر و در فاصلهٔ ۲۵ سانتیمتری ببیند. شعاع آینه و فاصلهٔ صورت شخص تا آینه چند سانتیمتر است؟

پاسخ: $q = ۱۵\,\text{cm},\ \ p = ۱۰\,\text{cm},\ \ R = ۶۰\,\text{cm}$

۱۲. تصویر یک شیء در آینهٔ کوژی به فاصلهٔ کانونی ۵۰ سانتیمتر در ۲۰ سانتیمتری پشت آینه دیده می‌شود. با استفاده از ترسیم محل شیء را پیدا کنید و بزرگنمایی آن را بیابید و سپس پاسخ خود را با فرمول آینه‌ها تطبیق دهید.

۱۳. شعاع انحنای آینه کوژی ۸۰ سانتیمتر است. اگر بزرگنمایی آن ۰٫۴ باشد
الف) فاصلهٔ شیء و تصویر نسبت به آینه چقدر است؟
ب) فاصلهٔ شیء تا تصویر چقدر است؟
پاسخ: $p = ۶۰\ \text{cm}$, $q = ۲۴\ \text{cm}$, $p + q = ۸۴\ \text{cm}$

۱۴. شیئی در فاصلهٔ ۱۰ سانتیمتر از آینهٔ کاوی به فاصلهٔ کانونی ۸ سانتیمتر قرار دارد. فاصلهٔ تصویر تا آینه و بزرگنمایی آن را به دست آورید. اگر آینهٔ کوژی به فاصلهٔ کانونی ۳ سانتیمتر را به فاصلهٔ ۴۶ سانتیمتر از یک آینهٔ کاو و روبه‌روی آن قرار دهیم، آخرین تصویر در چه فاصله‌ای از آینه کوژ تشکیل می‌شود و بزرگنمایی دستگاه دو آینه چقدر است؟
پاسخ: $۴۰\ \text{cm}$ ، ۴

۱۵. اگر شیئی در فاصلهٔ ۶۰ سانتیمتر از یک آینهٔ کروی قرار گیرد تصویری مستقیم با بزرگنمایی ۱٫۵ ظاهر می‌شود. نوع آینه را مشخص کنید و فاصلهٔ کانونی و مکان تصویر را به دست آورید.
پاسخ: آینه کاو، $f = ۷۲\ \text{cm}$, $p = ۲۴\ \text{cm}$، $q = ۳۶\ \text{cm}$

۱۶. فاصلهٔ شیئی از یک آینهٔ کاو به شعاع ۳۶ سانتیمتر باید چقدر باشد تا طول تصویر آن $\frac{۱}{۹}$ طول شیء باشد؟ در این حالت فاصلهٔ شیء تا تصویر را به‌دست آورید.
پاسخ: $۱۶۰\ \text{cm}$

۳

شکست نور

۱ـ۳ مقدمه

هنگامی که یک پرتو نور بر سطح محیط شفافی بتابد، معمولاً این پرتو در محیط شفاف در امتداد دیگری انتشار می‌یابد. این پدیده را شکست نور می‌نامند. پدیدهٔ شکست نور سبب می‌شود که استخر شنا کم‌عمق‌تر از آنچه که هست دیده شود و اجسام درون لیوان دارای آب، نظیر شکل ۳-۱، از بیرون شکسته به نظر آیند.

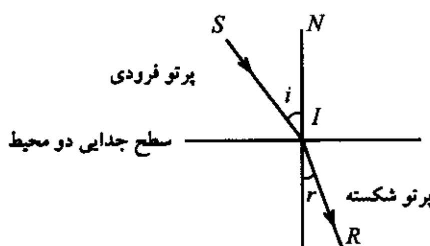


شکل۳-۱

پدیدهٔ شکست نور مربوط به تفاوت سرعت نور در دو محیط شفاف است. آزمایش نشان می‌دهد که اگر سرعت نور در محیط جدید کمتر از محیط شفاف قبلی باشد، نور به خط عمود در نقطهٔ تابش نزدیکتر و اگر در محیط جدید بیشتر از محیط شفاف قبلی باشد، نور از خط عمود دورتر خواهد شد.

زاویه‌ای را که پرتو فرودی SI با خط عمود IN تشکیل می‌دهد، شکل ۳-۲، زاویهٔ تابش (i) یا زاویهٔ فرود و زاویه‌ای را که پرتو شکستهٔ IR با خط عمود تشکیل می‌دهد زاویهٔ شکست[1] (r) می‌نامند.

آزمایش و اندازه‌گیری نشان می‌دهد که شکست نور همواره براساس دو قانون زیر صورت می‌پذیرد:



شکل۳-۲

قانون اول - پرتو تابیده و پرتو شکسته و خط عمود در نقطهٔ تابش در یک صفحه‌اند، این صفحه را صفحهٔ تابش یا صفحهٔ فرود می‌نامند.

قانون دوم - نسبت سینوس زاویهٔ تابش به سینوس زاویهٔ شکست برای دو محیط شفاف معین مقدار ثابتی است.

قانون دوم توسط اسنل ریاضی-فیزیکدان هلندی در سال ۱۶۲۱ میلادی کشف شد و دکارت نیز آن را جداگانه به دست آورد.

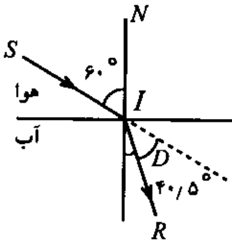
قانون دوم را به صورتهای زیر می‌نویسند

$$n_1 \sin i = n_2 \sin r \quad \text{یا} \quad \frac{\sin i}{\sin r} = \frac{n_2}{n_1} = n_{2,1}$$

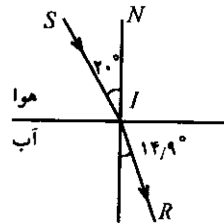
در این روابط n_1 را ضریب شکست[2] مطلق محیط اول و n_2 را ضریب شکست مطلق محیط دوم و $n_{2,1}$ را ضریب شکست نسبی محیط دوم نسبت به محیط اول می‌نامند.

مثال ۱. در آزمایشی یک پرتو نور مطابق شکل ۳-۳ با زاویهٔ تابش °۲۰ از هوا به سطح آب می‌تابد و با زاویهٔ °۱۴٫۹ وارد آب می‌شود. در آزمایش دیگر زاویهٔ تابش °۶۰ و زاویهٔ شکست نور در آب °۴۰٫۵ است، شکل ۳-۴. ضریب شکست نسبی آب نسبت به هوا را تعیین کنید.

1- angle of refraction 2- index of refraction



شکل ۳-۴



شکل ۳-۳

حل:

حالت اول ـ

$$i = ۲۰^\circ \Longrightarrow \sin i = \sin ۲۰^\circ = ۰/۳۴۲۰$$

$$r = ۱۴/۹^\circ \Longrightarrow \sin r = \sin ۱۴/۹^\circ = ۰/۲۵۷۱$$

ضریب شکست هوا برابر یک است، پس

$$n_{۲,۱} = \frac{\sin i}{\sin r} = \frac{۰/۳۴۲۰}{۰/۲۵۷۱} = ۱/۳۳ \Longrightarrow n_۲ = ۱/۳۳$$

حالت دوم ـ

$$i = ۶۰^\circ \Longrightarrow \sin i = \sin ۶۰^\circ = ۰/۸۶۶۰$$

$$r = ۴۰/۵^\circ \Longrightarrow \sin r = \sin ۴۰/۵^\circ = ۰/۶۴۹۴$$

$$n_{۲,۱} = \frac{\sin i}{\sin r} = \frac{۰/۸۶۶۰}{۰/۶۴۹۴} = ۱/۳۳ \Longrightarrow n_۲ = ۱/۳۳$$

نتیجه می‌گیریم که ضریب شکست آب نسبت به هوا برای هر پرتوی که به سطح جدایی این دو محیط شفاف بتابد برابر $\frac{۴}{۳} = ۱/۳۳$ است.

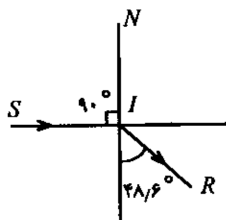
ضریب شکست آب نسبت به هوا بزرگتر از یک است. از این‌رو آب نسبت به هوا محیط غلیظ‌تر یا هوا نسبت به آب محیط رقیقتر است. زاویهٔ بین امتداد پرتو تابیده و پرتو شکسته را زاویهٔ انحراف[1] گویند، شکل ۳-۴، و آن را با نماد D نشان می‌دهند. زاویهٔ انحراف از رابطهٔ زیر به‌دست می‌آید

$$D = i - r$$

▲

مثال ۲. هرگاه زاویهٔ تابش نور ۹۰° باشد، شکل ۳-۵، زاویهٔ شکست نور چقدر است؟ (ضریب شکست آب نسبت به هوا برابر $\frac{۴}{۳}$ است).

1- angle of deviation



شکل۳-۵

حل: با استفاده از رابطهٔ $n_{۲,۱} = \frac{\sin i}{\sin r}$ نتیجه می‌گیریم

$$n_{۲,۱} = \frac{\sin ۹۰^\circ}{\sin r} \Longrightarrow \frac{۴}{۳} = \frac{۱}{\sin r}$$
$$\Longrightarrow \sin r = \frac{۳}{۴} = ۰/۷۵$$

و از آنجا

$$r = ۴۸/۶^\circ$$

وقتی زاویهٔ تابش در محیط رقیق °۹۰ باشد زاویهٔ شکست نور حداکثر خواهد بود که به آن زاویهٔ حد[1] گفته می‌شود و آن را به حرف C نشان می‌دهند. برای زاویهٔ حد داریم

$$\sin C = \frac{۱}{n_{۲,۱}} = \frac{n_۱}{n_۲}$$

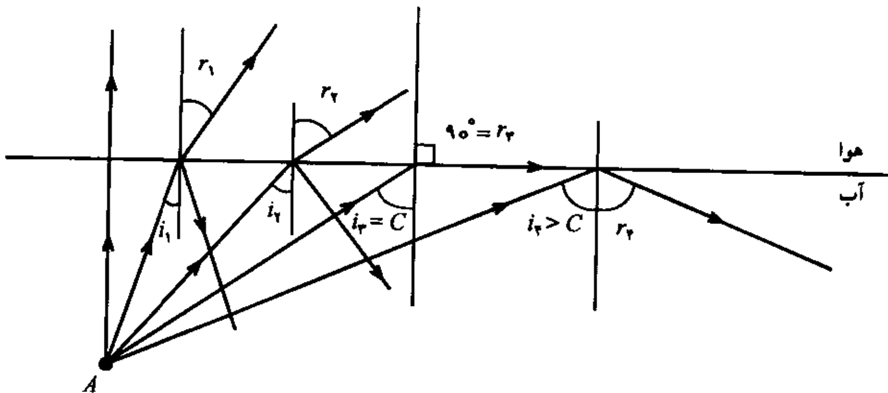
▲

۳ـ۲ بازتاب کلّی

هرگاه یک دسته پرتو نور از محیط غلیظ به سطح جداکنندهٔ محیط رقیق برسد (مانند حالتی که چراغ روشن درون آب باشد)، رفتار نور مطابق شکل ۳-۶ است.

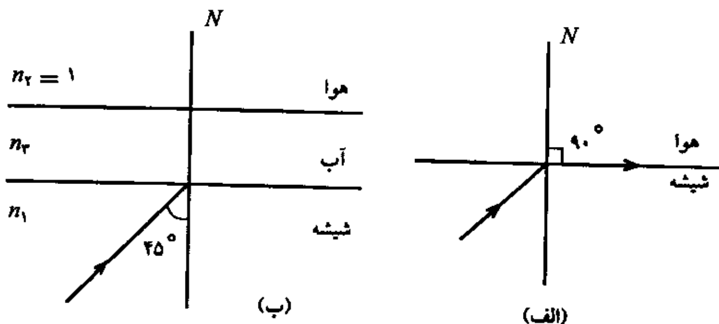
هرگاه زاویهٔ تابش صفر باشد یعنی نور عمود به سطح جدایی بتابد، نور بدون شکست عبور می‌کند. اگر زاویهٔ تابش کوچک باشد، بخش کوچکی از نور به محیط اول باز می‌گردد و با بزرگتر شدن زاویهٔ تابش بخش بیشتری از نور بازتابیده می‌شود و زاویهٔ شکست نیز بیشتر می‌شود. وقتی زاویهٔ شکست نور به °۹۰ برسد، پرتوهای شکسته موازی با سطح جدایی دو محیط شفاف خواهند بود. در این حالت زاویهٔ تابش برابر زاویهٔ حد C است. چنانچه زاویهٔ تابش بزرگتر از زاویهٔ حد باشد؛ همهٔ نور به محیط اول برمی‌گردد. این پدیده را بازتاب کلی[2] نور می‌نامند. زاویهٔ حد از رابطهٔ $\sin C = \frac{۱}{n}$ به دست می‌آید که در آن n ضریب شکست نسبی محیط غلیظ نسبت به محیط رقیق است.

1- critical angle 2- total reflection



شکل۳-۶

مثال ۳. در شکل ۳-۷ الف اگر محیط شفاف پایینی شیشه و بالایی هوا باشد، معین کنید
الف) زاویهٔ حد را برای پرتوی که از شیشه به سطح جداکنندهٔ شیشه و هوا برخورد کند.
ب) اگر بالای شیشه آب باشد، شکل ۳-۷ ب، آیا پرتو با زاویهٔ تابش ۴۵ درجه می‌تواند به محیط آب وارد شود یا آنکه بر سطح شیشه و آب بازتابیده می‌شود؟ ضریب شکست مطلق شیشه $n_1 = 1/66$ و ضریب شکست هوا $n_2 = 1$ و ضریب شکست مطلق آب $n_3 = 1/33$ است.



شکل۳-۷

حل: الف) با استفاده از رابطهٔ

$$n_1 \sin i = n_2 \sin r$$

زاویهٔ حد برابر است با

$$1/66 \sin C = 1 \times \sin 90^\circ \Longrightarrow \sin C = \frac{1}{1/66} \Longrightarrow C = 37^\circ$$

در این حالت اگر نور با زاویهٔ تابش °۴۵ بتابد، یعنی زاویهٔ تابش از زاویهٔ حد که °۳۷ است بزرگتر باشد، درنتیجه برای پرتو نور بازتاب کلی روی می‌دهد.

ب) در این حالت زاویهٔ شکست نور برابر °۹۰ و پرتو شکسته مماس به سطح شیشه و آب است. ابتدا زاویهٔ حد بین دو محیط شفاف را پیدا می‌کنیم تا متوجه شویم که نور می‌تواند عبور کند یا خیر.

$$n_۱ \sin i = n_۲ \sin r$$

$$\sin i = \frac{n_۲}{n_۱} \sin r \Longrightarrow \sin i = \frac{۱/۳۳}{۱/۶۶} \cdot \sin ۹۰^\circ$$

$$\sin C = ۰/۸۰۱ \Longrightarrow C = ۵۳/۷^\circ$$

زاویهٔ حد در این حالت °۵۳/۷ است. پس اگر پرتو نور با زاویهٔ °۴۵ به سطح جدایی دو محیط شفاف بتابد ($\hat{i} < \hat{C}$) می‌تواند از شیشه به آب وارد شود. زاویهٔ شکست در آب به این ترتیب به‌دست می‌آید

$$n_۱ \sin i = n_۲ \sin r \Longrightarrow ۱/۶۶ \sin ۴۵^\circ = ۱/۳۳ \sin r$$

$$۱/۶۶ \times \frac{\sqrt{۲}}{۲} = ۱/۳۳ \sin r \Longrightarrow \sin r = ۰/۸۸۲ \Longrightarrow r = ۶۱/۹^\circ$$

یعنی نور با زاویهٔ شکست تقریبی °۶۲ وارد آب می‌شود.



مثال ۴. زاویهٔ رأس منشوری °۶۰ و ضریب شکست آن $\sqrt{۲}$ است. حداقل زاویهٔ تابش نور برای یک پرتو که بتواند از وجه مقابل خارج شود چه اندازه است؟

حل: زاویهٔ حد برابر است با

$$\sin C = \frac{۱}{n} = \frac{۱}{\sqrt{۲}} = \frac{\sqrt{۲}}{۲}$$

$$C = ۴۵^\circ$$

با استفاده از رابطهٔ $\sin i_m = n \sin(A - C)$ نتیجه می‌گیریم

$$\sin i_m = \sqrt{۲} \sin(۶۰^\circ - ۴۵^\circ) \simeq ۰/۳۶۶ \Longrightarrow i_m = ۲۱^\circ$$

پرتوهایی از وجه مقابل منشور خارج می‌شوند که زاویهٔ تابش آنها از °۲۱ بیشتر باشد.



۳ـ۳ تار نوری

تار نوری[1] رشتهٔ باریک و بلندی از یک مادهٔ شفاف مثل شیشه یا پلاستیک است که می‌تواند نوری را که از یک سر به آن وارد شده است از سر دیگر خارج کند. این تارها مانند شکل ۳-۸ الف از رشته‌ای به

1- optical fiber

نام مغزی که دارای پوششی به نام غلاف هستند تشکیل شده‌اند. ضریب شکست غلاف از ضریب شکست مغزی کوچکتر است و درنتیجه نور روی غلاف بازتاب کلی می‌یابد و می‌تواند سراسر تار را طی کند و از انتهای دیگر خارج شود. بسته‌ای از این تارها به صورت یک کابل مورد استفاده قرار می‌گیرد. این کابلها قابل انعطاف‌اند و به علت جای کمی که می‌گیرند و وزن سبکی که دارند موارد استفادهٔ خیلی زیادی دارند. تارهای نوری در ارتباطهای تلفنی، ویدیویی و رایانه‌ای انقلاب بزرگی را فراهم آورده‌اند.



(الف)


(ب)

شکل۳-۸

در شکل ۳-۸ ب نشان داده شده است که یک تار نوری می‌تواند مجموعهٔ اطلاعات کاملی حاوی ۲۵۶ جفت سیم را منتقل کند.

از تار نوری در پزشکی و در دستگاههایی به نام درون‌بین یا اندوسکوپ[1] استفاده می‌شود. اندوسکوپ را به درون نای، مری، روده، مثانه می‌فرستند و درون اعضای بدن را مستقیماً مشاهده می‌کنند.

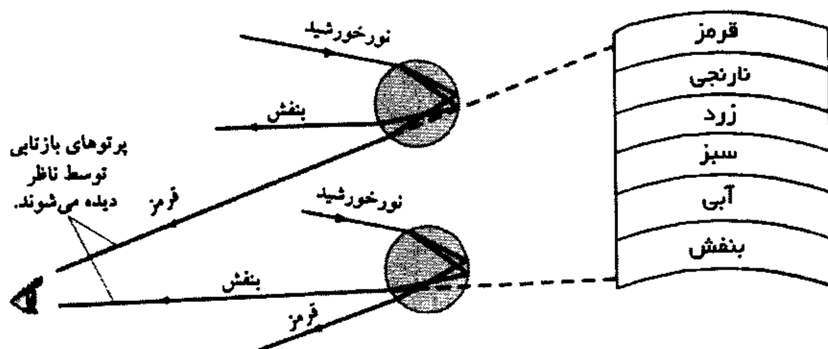
نخستین سیستم مخابرات با تار نوری در سال ۱۳۵۸ خورشیدی در ژاپن و سپس در امریکا به‌کار افتاد و از آن پس تار نوری با سرعت جای خود را در شبکه‌های مخابراتی سایر کشورها و شبکه‌های بین‌المللی مخابراتی باز کرد. در ایران این پدیدهٔ نوین مخابراتی مورد توجه قرار گرفت و در سال ۱۳۶۵ کارخانه تولید کابل نوری در یزد پایه‌گذاری شد و در سال ۱۳۶۷ به بهره‌برداری رسید و نخستین خط مخابراتی تار نوری در همین سال بین تهران و کرج به‌کار افتاد. اکنون مراکز تلفنی در تهران و چند شهر کشور با سیستم مخابرات نوری به یکدیگر مرتبط شده‌اند به‌طوری که ارتباط شهرهای ایران با سایر شهرهای جهان از این طریق صورت می‌گیرد.

1- indoscope

پروژه تار نوری آسیا-اروپا که به TAE[1] معروف است دارای ۲۴۰۰۰ کیلومتر طول است و از چین، قرقیزستان، قزاقستان، ازبکستان و ترکمنستان، ایران، ترکیه، اوکراین و آلمان می‌گذرد. ظرفیت قابل حمل این پروژه ۷۵۶۰ کانال تلفنی است.

۳-۴ رنگین‌کمان

قطره‌های ریز آب معلق در هوا پس از بارندگی، نور خورشید را بازتابیده و تجزیه می‌کنند و به چشم ناظر می‌رسانند. بیننده‌ای که پشت به خورشید ایستاده است نورهای بازتابیده را به صورت رنگین‌کمان[2] می‌بیند. توجه کنید که رنگ قرمز در بالا و رنگ بنفش در پایین است. در شکل ۳-۹ چگونگی تشکیل رنگین‌کمان مشاهده می‌شود.



شکل۳-۹

۳-۵ سراب

اغلب در جاده‌های اسفالته یا در بیابانها منظرهٔ آب یا دریاچه‌ای دیده می‌شود که وقتی به‌سوی آن حرکت می‌کنیم، آن هم با همان سرعت و در همان جهت حرکت می‌کند. این منظره را سراب[3] می‌گویند. علت تشکیل سراب این‌گونه است که

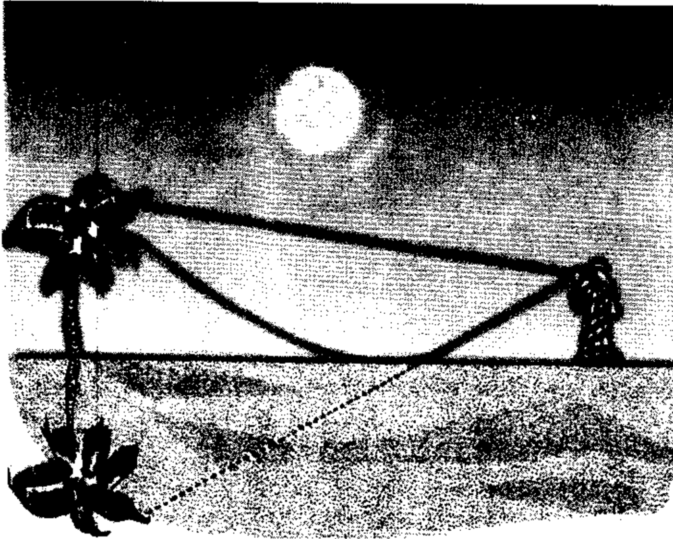
الف) پرتوهای خورشید به سطح زمین می‌رسند و زمین را گرم می‌کنند.

ب) لایه‌های هوا که در نزدیکی سطح زمین قرار دارند نسبت به لایه‌های بالایی گرمتر و رقیقتر می‌شوند.

پ) پرتوهای نور که از خورشید به سوی سطح زمین منتشر می‌شوند از لایه‌های غلیظ‌تر که به لایه‌های رقیق‌تر می‌رسند، شکست می‌یابند و از خط عمود دورتر می‌شوند و زاویهٔ تابش آنها به زاویهٔ حد نزدیک می‌شود.

1- Trans Asia-Europe 2- rainbow 3- mirage

ت) هنگامی که زاویهٔ تابش به زاویهٔ حد برسد پرتو نور نمی‌تواند از محیط غلیظ به محیط رقیقتر پایین برسد و درنتیجه بازتاب کلی می‌یابد و به سوی بالا باز می‌گردد، شکل ۳-۱۰.



شکل۳-۱۰

ث) این پرتو ضمن برخورد با ذرات هوا رنگ آبی را بیش از سایر رنگها پراکنده می‌کند و این باعث می‌شود که ناظر رنگ آبی را بر سطح زمین می‌بیند و تصور می‌کند که دریاچه‌ای برابر او قرار دارد.

۳ـ۶ رابطهٔ ضریب شکست محیط با سرعت نور

سرعت نور در خلأ بیشترین اندازه را دارد و برابر است با $c = ۳ \times ۱۰^۸ \mathrm{m/s}$، ولی در محیط‌های شفاف دیگر کمتر است. اندازه‌گیری نشان می‌دهد که رابطهٔ ضریب شکست مطلق و نسبی هر محیط به صورت زیر است

$$\text{ضریب شکست مطلق محیط ۱} = \frac{\text{سرعت نور در خلأ}}{\text{سرعت نور در محیط ۱}} \Longrightarrow n_۱ = \frac{c}{v_۱}$$

$$\text{ضریب شکست مطلق محیط ۲} = \frac{\text{سرعت نور در خلأ}}{\text{سرعت نور در محیط ۲}} \Longrightarrow n_۲ = \frac{c}{v_۲}$$

$$\text{ضریب شکست نسبی محیط ۲ به محیط ۱} = \frac{\text{سرعت نور در محیط ۱}}{\text{سرعت نور در محیط ۲}} \Longrightarrow n_{۲,۱} = \frac{n_۲}{n_۱} = \frac{v_۱}{v_۲}$$

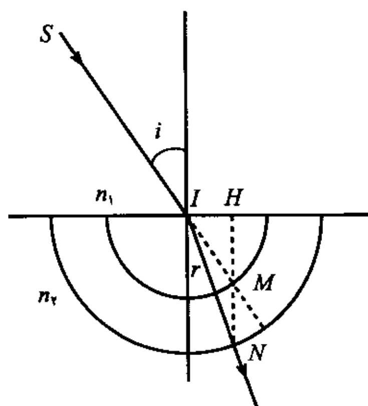
جدول زیر ضریب شکست مطلق چند محیط شفاف و سرعت نور در آنها را نشان می‌دهد.

ماده	n	$v(\mathrm{m/s})$	ماده	n	$v(\mathrm{m/s})$
هوا	۱٫۰۰۰۳	$۳٫۰۰ \times ۱۰^{۸}$	شیشهٔ کراون	۱٫۵۲	$۱٫۹۷ \times ۱۰^{۸}$
آب	۱٫۳۳	$۲٫۲۵ \times ۱۰^{۸}$	شیشهٔ فلنیت	۱٫۶۶	$۱٫۸ \times ۱۰^{۸}$
اتانول	۱٫۳۶	$۲٫۲۰ \times ۱۰^{۸}$	بنزن	۱٫۵۰	$۲٫۰ \times ۱۰^{۸}$
استون	۱٫۳۶	$۲٫۲۰ \times ۱۰^{۸}$	کلرورسدیم	۱٫۵۳	$۱٫۹۸ \times ۱۰^{۸}$
کوارتز	۱٫۴۶	$۲٫۰۵ \times ۱۰^{۸}$	الماس	۲٫۴۲	$۱٫۲۳ \times ۱۰^{۸}$

۳ـ۷ روش ترسیم پرتو شکسته

هرگاه پرتو تابش SI مطابق شکل ۳-۱۱ با زاویهٔ تابش i به نقطهٔ I از سطح جدایی دو محیط شفاف با ضریب شکستهای n_1 و n_2 بتابد، می‌توان امتداد پرتو شکست IR را به روش ترسیم به صورت زیر مشخص کرد.

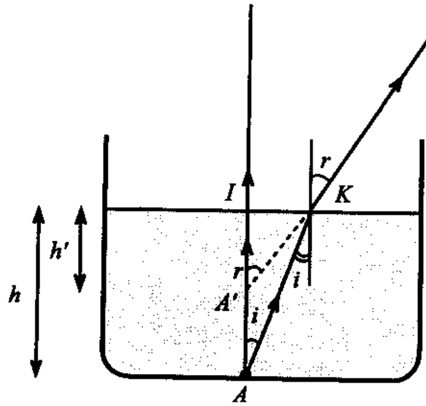
در نقطهٔ I دو دایره به شعاعهای n_1 و n_2 رسم می‌کنیم. آنگاه خط SI را امتداد می‌دهیم تا در نقطهٔ M دایرهٔ به شعاع n_1 را قطع کند. سپس عمود MH را از این نقطه به سطح جدایی رسم می‌کنیم تا در نقطهٔ N دایره به شعاع n_2 را قطع کند. خط IN همان پرتو شکسته است. چرا؟



شکل۳-۱۱

۳ـ۸ عمق ظاهری و عمق حقیقی

هرگاه درون استخر پر از آبی را از هوا نگاه کنیم عمق استخر را کمتر از آنچه هست می‌بینیم. مثلاً اگر در نقطهٔ A درکف استخر سکه‌ای وجود داشته باشد این سکه در نقطهٔ A' دیده خواهد شد، شکل ۳-۱۲.



شکل۳-۱۲

علت این پدیده شکست نور است و با توجه به شکل ۳-۱۲ می‌توان رابطهٔ بین عمق حقیقی، h و عمق ظاهری، h' و فاصلهٔ جسم تا تصویر یعنی AA' را به‌دست آورد.

پرتوهایی که از کف استخر از نقطهٔ A تابیده می‌شوند پس از عبور از سطح مایع شکسته و منحرف می‌شوند، به‌طوری که ناظر تصویر نقطهٔ A را در A' خواهد دید. رابطه‌های زیر را می‌توان بین عمق ظاهری و عمق حقیقی به دست آورد. برای تعیین عمق ظاهری در مثلث AIK می‌توان نوشت

$$\tan i = \frac{IK}{AI} \Longrightarrow IK = AI \tan i$$

در مثلث $A'IK$ داریم

$$\tan r = \frac{IK}{A'I} \Longrightarrow IK = A'I \tan r$$

نتیجه می‌گیریم که

$$A'I \tan r = AI \tan i \Longrightarrow h' \tan r = h \tan i$$

که در آن $AI = h$ عمق حقیقی و $A'I = h'$ عمق ظاهری است.

پس

$$h' = h\frac{\tan i}{\tan r}$$

فاصلهٔ شیء تا تصویر آن یعنی AA' برابر است با

$$AA' = h - h' = h - h\frac{\tan i}{\tan r}$$

پس

$$AA' = h\left(1 - \frac{\tan i}{\tan r}\right)$$

هرگاه ضریب شکست نسبی آب استخر را نسبت به هوا برابر n و ضریب شکست هوا را یک فرض

کنیم، می‌توانیم ضریب شکست آب را به صورت زیر به دست آوریم

$$n_1 \sin i = n_2 \sin r \Longrightarrow n \sin i = 1 \times \sin r$$

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{1}{n}$$

هرگاه تقریباً به‌طور عمودی به سطح آب نگاه کنیم، زاویه‌های تابش و شکست نور کوچک‌اند و به جای تانژانت زاویه می‌توان سینوس آن را به‌کار برد. بنابراین فاصلهٔ جسم تا تصویر از رابطهٔ زیر به دست می‌آید

$$AA' = h\left(1 - \frac{\sin i}{\sin r}\right) \Longrightarrow AA' = h\left(1 - \frac{1}{n}\right)$$

و از این‌رو داریم

$$h' = \frac{h}{n}$$

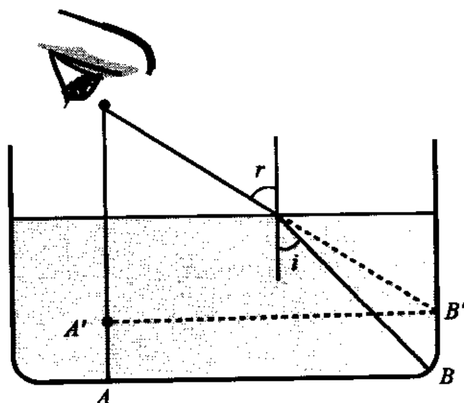
مثال ۵. در ظرفی به ارتفاع ۴۰ سانتیمتر مایعی به ضریب شکست ۲ ریخته‌ایم. عمق ظاهری مایع و فاصلهٔ شیء تا تصویر آن را پیدا کنید.

حل:

$$h' = \frac{h}{n} = \frac{40}{2} \Longrightarrow h' = 20 \text{ cm}$$

$$AA' = h - h' = 40 - 20 = 20 \text{ cm}$$

اگر نور با زاویهٔ مایل به چشم برسد عمق ظاهری از رابطهٔ $h' = h\frac{\tan i}{\tan r}$ به دست می‌آید که i زاویهٔ تابش پرتو از کف استخر یا ظرف و r زاویهٔ شکست همان پرتو است.

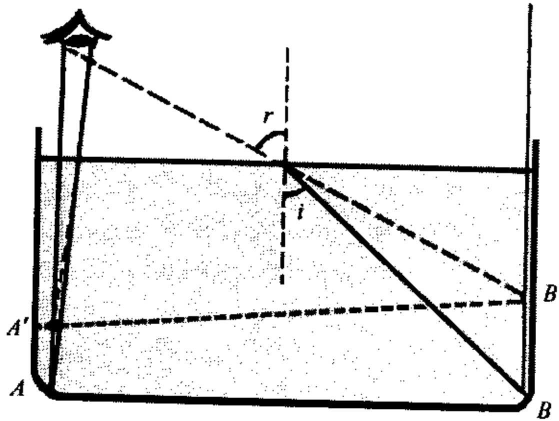


شکل۳-۱۳

▲

مثال ۶. شخصی کنار حوضی با عمق یکسان ایستاده است. شخص کدام قسمت حوض را گودتر می‌بیند؟ کف حوض برای او چگونه به نظر می‌رسد؟

حل: این ناظر، نقطهٔ A را در A' و نقطهٔ B را در شکل ۳-۱۴ در B' می‌بیند. به‌طوری که در شکل ۳-۱۴ دیده می‌شود، کف حوض به شکل $A'B'$ یعنی شیبدار دیده می‌شود. عمیقترین قسمت آن همان نقطهٔ A است که در امتداد قائم و در نقطهٔ A' دیده می‌شود.



شکل۳-۱۴

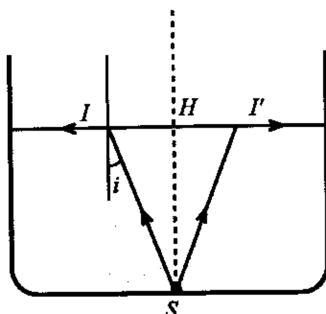
▲

مثال ۷. در کف حوضی به عمق ۱ m یک لامپ الکتریکی کوچک قرار داده‌ایم، شکل ۳-۱۵. اندازهٔ سطحی از آب را که نور می‌تواند از آن خارج شود به‌دست آورید. ضریب شکست آب $\frac{۴}{۳}$ است.

حل: برای آنکه نور از سطح آب خارج شود باید زاویهٔ تابش از زاویهٔ حد کوچکتر باشد $(i \leqslant C)$ و چون زاویهٔ حد برابر است با

$$\sin C = \frac{۱}{n} = \frac{۱}{۴/۳} = \frac{۳}{۴} \Longrightarrow C = ۴۹^\circ$$

به عبارت دیگر اگر زاویهٔ تابش نور کمتر از °۴۹ باشد نور می‌تواند وارد هوا شود. از طرف دیگر در مثلث



شکل۳-۱۵

ISH می‌توان نوشت

$$\tan i = \frac{IH}{HS}$$

$$IH = HS \times \tan i = ۱ \times \tan ۴۹^\circ = ۱ \times ۱/۱۵ \Longrightarrow IH = ۱/۱۵\,\text{m}$$

درنتیجه شعاع دایره‌ای که نور می‌تواند از آن خارج شود برابر $r = IH$ است و سطح این دایره برابر است با

$$A = \pi r^۲ = ۳/۱۴(۱/۱۵)^۲$$
$$= ۴/۱۵\,\text{m}^۲$$

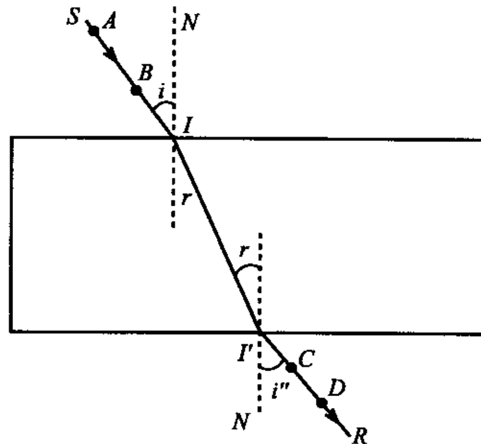
▲

۳ـ۹ اندازه‌گیری ضریب شکست مایع به روش عملی

لامپ کوچک روشنی را بالای ظرف آبی بگیرید و آن را آنقدر بالا و پایین ببرید تا تصویر لامپ و کف ظرف از بالا منطبق بر هم دیده شوند. فاصلهٔ لامپ روشن تا سطح مایع برابر همان عمق ظاهری مایع است. درنتیجه با داشتن عمق مایع (h) و عمق ظاهری یعنی فاصلهٔ لامپ تا سطح مایع که برابر h' است می‌توان نوشت $n = \frac{h}{h'}$، که n ضریب شکست مایع است. چرا؟

۳ـ۱۰ مسیر نور در یک تیغهٔ شیشه‌ای

شیشهٔ کلفتی را روی صفحهٔ مقوایی مطابق شکل ۳-۱۶ قرار می‌دهیم و یک پرتو نور مثلاً SI را رسم می‌کنیم. سپس دو عدد سنجاق ته‌گرد در نقاط A و B روی مقوا نصب می‌کنیم. آنگاه از طرف دیگر شیشه نگاه می‌کنیم تا امتداد سنجاقها را از درون شیشه ببینیم و در همین امتداد دو سنجاق دیگر در نقاط C و D بر مقوا بین چشم و شیشه طوری نصب می‌کنیم که هر چهار سنجاق در یک امتداد دیده شوند. اکنون دو سطح موازی دو طرف تیغه را توسط مداد روی مقوا مشخص می‌کنیم و شیشه را از



شکل۳-۱۶

روی مقوا برمی‌داریم. امتداد دو سنجاق C و D را ادامه می‌دهیم تا سطح خروجی تیغه را در نقطهٔ I' قطع کند. مشاهده می‌کنیم که دو امتداد ورودی SI و خروجی $I'R$ با یکدیگر موازی‌اند.

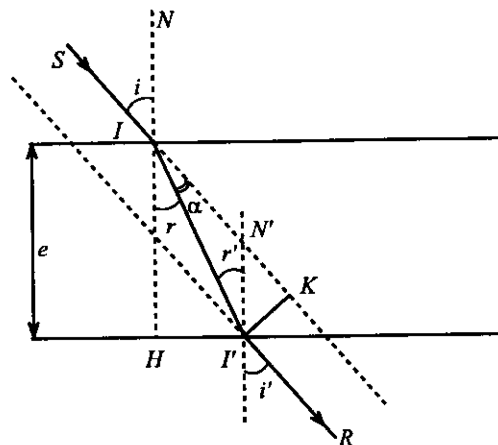
مثال ۸. با استفاده از قانونهای شکست نور ثابت کنید که امتداد پرتو نور پیش از ورود به تیغهٔ شفاف و پس از عبور از آن موازی‌اند.

حل: در دو طرف تیغهٔ شیشه‌ای هوا وجود دارد و نوری که با زاویهٔ تابش i مطابق شکل ۳-۱۷، به سطح جلوی شیشه تابیده است با زاویهٔ r به درون شیشه که ضریب شکست آن n است وارد می‌شود و رابطهٔ زاویهٔ i و زاویهٔ r بنابر قانون شکست نور چنین است، $\sin i = n \sin r$. این پرتو با زاویه r' به سطح جداکنندهٔ شیشه و هوا می‌رسد و با زاویهٔ i' خارج می‌شود به‌طوری که می‌توان نوشت $n \sin r' = \sin i'$. اما دو زاویهٔ r و r' با یکدیگر برابرند، زیرا دو زاویهٔ بین دو خط موازی IN و $I'N'$ و یک خط قاطع هستند. بنابراین داریم $\sin i = \sin i'$ یعنی دو زاویهٔ i و i' با هم برابرند. درنتیجه چون یکی از دو ضلع زاویه‌های i و i' یعنی IN و $I'N'$ با هم موازی است پس دو ضلع دیگر آنها یعنی SI و $I'R$ نیز با هم موازی‌اند.



۳ـ۱۱ محاسبهٔ جابه‌جایی پرتو ورودی

هرگاه مطابق شکل ۳-۱۷ یک پرتو نوری در امتداد SI به تیغه‌ای بتابد، در امتداد $I'R$ خارج می‌شود. اگر این دو پرتو را امتداد دهیم $I'K$ فاصلهٔ دو امتداد ورودی پرتو نور و خروجی آن است. برای محاسبهٔ



شکل۳-۱۷

$I'K$ در مثلث IHI' می‌نویسیم، $\cos r = \frac{IH}{II'}$ یا $II' = \frac{IH}{\cos r}$. در مثلث $II'K$ می‌توان نوشت

$$\sin\alpha = \frac{I'K}{II'} \Longrightarrow \sin(i-r) = \frac{I'K}{II'}$$

$$I'K = II'\sin(i-r)$$

به جای II' مساوی آن را قرار می‌دهیم، داریم

$$I'K = \frac{IH}{\cos r}\cdot\sin(i-r)$$

به‌جای IH ضخامت تیغه یعنی e را قرار می‌دهیم. فاصلهٔ $d = I'K$ دو پرتو ورودی و خروجی عبارت است از $d = e\frac{\sin(i-r)}{\cos r}$. این رابطه نشان می‌دهد که هر اندازه ضخامت تیغه یعنی e بیشتر باشد فاصلهٔ بین دو پرتو ورودی و خروجی بیشتر است و هر چه زاویهٔ تابش i بیشتر باشد، اندازهٔ d نیز بیشتر خواهد بود.

مثال ۹. کلفتی یک تیغهٔ شیشه‌ای ۶ میلیمتر است. هرگاه یک پرتو نوری با زاویهٔ تابش °۶۰ به شیشه بتابد و با زاویهٔ °۳۰ وارد شیشه شود، میزان جابه‌جایی آن چند میلیمتر است؟

حل: با استفاده از رابطهٔ $d = e\frac{\sin(i-r)}{\cos r}$ و جایگزینی مقادیر داده شده نتیجه می‌گیریم

$$d = ۶\frac{\sin(۶۰^\circ - ۳۰^\circ)}{\cos ۳۰} = \frac{\sin ۳۰^\circ}{\cos ۳۰^\circ}$$

$$= \frac{۱/۲}{\sqrt{۳}/۲} = \frac{۱}{\sqrt{۳}} = \frac{۱}{۱{,}۷} \approx ۰{,}۶\text{mm}$$

▲

۳ـ۱۲ تصویر در یک تیغهٔ شیشه‌ای

هرگاه نقطهٔ روشن S را از پشت یک تیغهٔ شیشه‌ای به ضخامت e نگاه کنیم، تصویر مجازی آن مطابق شکل ۳-۱۸ در نقطهٔ S' دیده می‌شود. فاصلهٔ SS' با توجه به شکل برابر AA' است.

با توجه به رابطهٔ

$$AA' = h\left(1 - \frac{1}{n}\right)$$

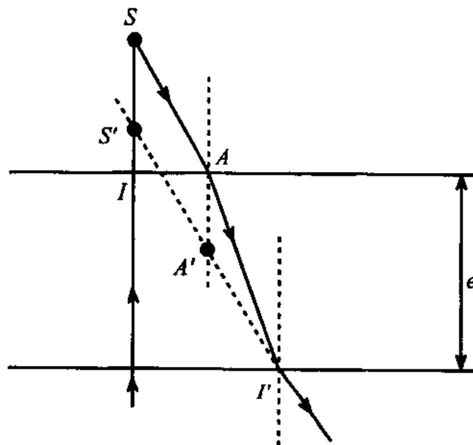
می‌توان نوشت

$$SS' = AA' = e\left(1 - \frac{1}{n}\right)$$

در این رابطه AA' فاصلهٔ شیء تا تصویر مجازی آن S'، e کلفتی شیشه و n ضریب شکست آن است.

هرگاه چند تیغه شیشه‌ای به کلفتیهای e_1، e_2، e_3 و ... و ضریب شکستهای n_1، n_2 و n_3 و ... را روی هم قرار دهیم فاصلهٔ شیء تا تصویر آن از رابطهٔ زیر به‌دست می‌آید

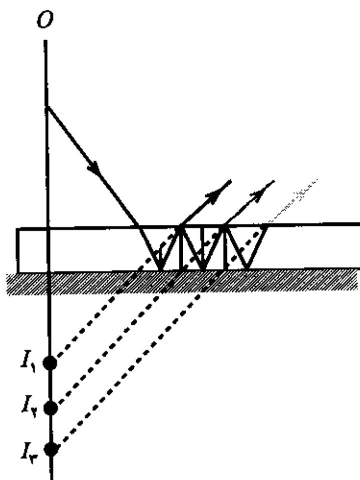
$$AA' = e_1\left(1 - \frac{1}{n_1}\right) + e_2\left(1 - \frac{1}{n_2}\right) + e_3\left(1 - \frac{1}{n_3}\right) + \cdots$$



شکل۳-۱۸

۳ـ۱۳ تشکیل تصویر چندگانه در آینهٔ شیشه‌ای ضخیم

هرگاه یک چشمهٔ نور در برابر آینه‌ای که از شیشهٔ ضخیم تشکیل شده است قرارگیرد، به جای یک تصویر در آینه چند تصویر دیده می‌شود. این تصویرها به نسبت دور بودن در چشم ناظر روشنایی کمتری دارند. علت پیدایش چند تصویر، بازتابهای متوالی درون شیشه مطابق شکل ۳-۱۹ است.



شکل۳-۱۹

خلاصهٔ فصل

هرگاه پرتو نوری از یک محیط شفاف به محیط شفاف دیگری برسد، به دلیل تفاوت سرعت نور در این دو محیط امتداد مسیر نور در سطح جدایی دو محیط تغییر می‌کند. این انحراف را شکست نور می‌نامند. قانونهای شکست عبارت‌اند از

۱. پرتو تابش و پرتو شکست و خط عمود در نقطهٔ تابش در یک صفحه‌اند.

۲. نسبت سینوس زاویهٔ تابش به سینوس زاویهٔ شکست برای دو محیط شفاف معین مقدار ثابتی است. این مقدار ثابت ضریب شکست نسبی دو محیط نامیده می‌شود.

تفاضل زاویهٔ تابش و زاویهٔ شکست را زاویهٔ انحراف می‌نامند.

چنانچه نور از محیط شفاف غلیظ به محیط شفاف رقیق به طریقی بتابد که پرتو شکست موازی با سطح جدایی خارج شود زاویهٔ تابش را زاویهٔ حد می‌نامند. اگر زاویهٔ تابش از زاویهٔ حد بیشتر باشد، پرتوهای تابیده در همان محیط بازتابیده می‌شوند و این پدیده را بازتاب کلی می‌نامند. بین ضریب شکست نور در دو محیط و سرعت نور رابطهٔ زیر برقرار است

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{v_2}{v_1}$$

اگر از هوا درون استخری را بنگریم عمق استخر کمتر دیده می‌شود. بین عمق ظاهری و عمق حقیقی این رابطه برقرار است،

$$h' = h\frac{\tan i}{\tan r}$$

درصورتی‌که تقریباً عمودی به استخر بنگریم می‌توان نوشت $h' = \frac{h}{n}$.

هرگاه پرتوی با زاویهٔ تابش i به تیغه‌ای بتابد، پرتو خروجی با همان زاویهٔ تابش خارج می‌شود به‌طوری‌که پرتو تابش و پرتو خروجی با هم موازی‌اند.

اگر چشمهٔ نور در مقابل آینه شیشه‌ای ضخیمی قرارگیرد به جای یک تصویر چند تصویر در آینه دیده می‌شود.

هدفهای آموزشی

اکنون که این فصل را به پایان رسانیده‌اید باید بتوانید

- شکست نور، زاویهٔ شکست، زاویهٔ انحراف، ضریب شکست، ضریب شکست مطلق را تعریف کنید.
- قانونهای شکست نور را بیان کنید و رابطهٔ ضریب شکست را با سرعت نور در محیط شفاف بنویسید.
- رابطهٔ عمق حقیقی و عمق ظاهری یک محیط شفاف را برای ناظری که از محیط شفاف دیگر نگاه می‌کند حساب کنید.
- مسیر یک پرتو نور را در تیغه شیشه‌ای رسم و جابه‌جایی پرتو ورودی را محاسبه کنید.
- فاصلهٔ جسم تا تصویر آن را که از پشت تیغهٔ شیشه‌ای می‌بینید محاسبه کنید.
- طرز کار تار نوری را شرح دهید.
- علت تشکیل سراب را بیان کنید.
- علت پیدایش رنگین‌کمان را شرح دهید.

خود را بیازمایید

پرسشها

۱. چشمک زدن ستارگان مربوط به چه عاملی است؟

۲. ضریب شکست مطلق و ضریب شکست نسبی را تعریف کنید و رابطهٔ آنها را با سرعت نور بنویسید.

۳. رابطهٔ عمق ظاهری و عمق حقیقی را برای ناظری که از محیط رقیق به محیط غلیظ نگاه می‌کند محاسبه کنید.

۴. مسیر یک پرتو نور را در تیغهٔ شیشه‌ای رسم کنید.

۵. اگر ناظری در محیط غلیظ جسم واقع در محیط رقیق را نگاه کند آن را چگونه می‌بیند؟ نزدیکتر یا دورتر، با رسم تصویر مشخص کنید.

۶. از پشت پنجره اشیا چگونه دیده می‌شوند، نزدیک‌تر یا دورتر؟

۷. رابطهٔ فاصلهٔ جسم تا تصویرش را با ضخامت و ضریب شکست چند محیط شفاف که روی‌هم قرار دارند و جسم از پشت آنها دیده می‌شود محاسبه کنید.

۸. چرا خارج از جو زمین ستارگان بهتر دیده می‌شوند؟

۹. چه موقع رنگین کمان تشکیل می‌شود؟

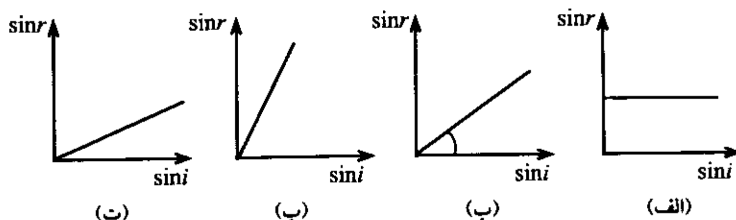
۱۰. علت تشکیل سراب چیست و در چه شرایطی تشکیل می‌شود؟

۱۱. چرا از پشت آینه‌های ضخیم شیشه‌ای به جای یک تصویر چندین تصویر از یک نقطهٔ روشن دیده می‌شود؟ با رسم شکل توضیح دهید.

۱۲. چرا کف یک استخر پر از آب که مسطح است از بالای استخر شیبدار دیده می‌شود؟ با رسم شکل توضیح دهید.

پرسشهای چهارگزینه‌ای

۱. نمودار تغییرات سینوس زاویهٔ تابش به سینوس زاویهٔ شکست از یک محیط رقیق به غلیظ به کدام صورت است؟



۲. سرعت نور در آب ۲۲۵ هزارکیلومتر بر ثانیه و در شیشه ۲۰۰ هزارکیلومتر بر ثانیه است. ضریب شکست آب نسبت به شیشه چقدر است؟

الف) $\frac{۹}{۸}$ ب) $\frac{۸}{۹}$ پ) $\frac{۴}{۳}$ ت) $\frac{۳}{۲}$

۳. یک پرتو نوری به فصل مشترک دو محیط شفاف می‌تابد و مقداری بازتابیده و مقداری شکسته می‌شود. اگر زاویهٔ بین پرتو تابیده و بازتابیده °۱۲۰ و زاویهٔ بین پرتو بازتابیده و شکسته °۹۰ باشد، ضریب شکست نسبی دو محیط چقدر است؟

الف) $\sqrt{۳}$ ب) $\frac{\sqrt{۳}}{۴}$ پ) $\frac{\sqrt{۳}}{۲}$ ت) $\frac{\sqrt{۲}}{۳}$

۴. نقطهٔ روشنی در محیط شفافی قرار دارد. اگر فاصلهٔ حقیقی آن نقطه تا سطح محیط ۱۰ سانتیمتر باشد و از هوا نزدیک به خط عمود به آن نگاه کنیم، ۲ سانتیمتر بالاتر دیده می‌شود. ضریب

شکست محیط چقدر است؟

الف) $\frac{۵}{۴}$ ب) $\frac{۴}{۳}$ پ) $\frac{۳}{۲}$ ت) $\frac{۴}{۵}$

۵. نقطهٔ روشنی در عمق ۲ متری مایعی قرار دارد. هرگاه نوری با زاویهٔ °۳۰ به سطح جدایی مایع و هوا بتابد، با زاویه °۴۵ وارد هوا می‌شود. تصویر در چه عمقی به نظر می‌رسد؟

الف) ۱/۵ ب) ۱/۷ پ) ۱/۴ ت) ۱/۱

۶. یک لامپ روشن در ۴ متری سطح آب استخری به عمق ۳ متر آویزان است. تصویر این لامپ برای ناظری که از بالا به استخر نگاه می‌کند ($n = \frac{۴}{۳}$ آب)

الف) در سطح آب دیده می‌شود.

ب) در کف استخر دیده می‌شود.

پ) در ۴ متری زیر سطح آب دیده می‌شود.

ت) در ۳ متری بالای سطح آب دیده می‌شود.

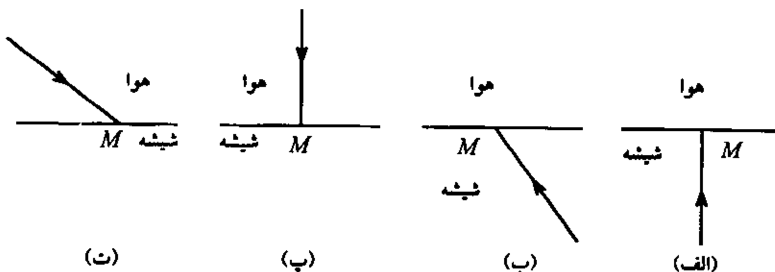
۷. یک دسته پرتو نوری با زاویهٔ تابش °۶۰ به سطح جدایی دو محیط شفاف می‌تابد و بازتابیده و شکسته می‌شود. اگر ضریب شکست محیط $\sqrt{۳}$ باشد، زاویهٔ بین پرتوهای بازتابیده و شکسته چند درجه است؟

الف) °۶۰ ب) °۹۰ پ) °۱۲۰ ت) °۱۵۰

۸. یک دسته پرتو موازی با زاویهٔ تابش °۶۰ از هوا به سطح مایعی برخورد می‌کند و °۱۵ منحرف شده و در مایع منتشر می‌شود. سرعت نور در این مایع تقریباً چند کیلومتر بر ثانیه است؟

الف) $۱/۵ \times ۱۰^۵$ ب) $۱/۷ \times ۱۰^۵$ پ) $۲/۱ \times ۱۰^۵$ ت) $۲/۴ \times ۱۰^۵$

۹. برای کدامیک از چهار پرتو تابیده در نقطهٔ M بر سطح جدایی هوا و شیشه، امکان بازتاب کلی وجود دارد؟



۱۰. ضریب شکست یک محیط شفاف برابر ۲ است. تغییرات زاویهٔ تابش و زاویهٔ شکست برای نوری که از هوا وارد این محیط شود کدام است؟

الف) $۹۰ \geq i \geq ۰$
$۳۰ \geq r \geq ۰$

ب) $۹۰ \geq i \geq ۰$
$۴۵ \geq r \geq ۰$

پ) $۹۰ \geq i \geq ۰$
$۶۰ \geq r \geq ۰$

ت) $۳۰ \geq i \geq ۰$
$۶۰ \geq r \geq ۰$

۱۱. سرعت نور در یک محیط شفاف به کدام عامل بستگی ندارد؟

الف) رنگ نور　　ب) جنس محیط　　پ) زاویهٔ تابش نور　　ت) چگالی محیط

۱۲. ضریب شکست مطلق شیشه ۱/۵ و ضریب شکست آن نسبت به یک مایع شفاف ۱/۲ است. سرعت نور در این مایع چه کسری از سرعت نور در خلأ است؟

الف) ۰/۵۵　　ب) ۰/۶۶　　پ) ۰/۸　　ت) ۰/۸۳

۱۳. ضریب شکست مطلق شیشه‌ای ۱/۵ است. سرعت انتشار نور در آن چند متر بر ثانیه است؟

الف) $۱/۵ \times ۱۰^۸$　　ب) ۲×۱۰^۵　　پ) ۲×۱۰^۸　　ت) ۳×۱۰^۸

۱۴. در مدت زمانی که نور مسافت ۲۰ سانتیمتر را در شیشه‌ای به ضریب شکست $\frac{۳}{۲}$ طی می‌کند، نور کدام مسافت زیر را در هوا می‌پیماید؟

الف) ۲۰ cm　　ب) ۳۰ cm　　پ) $\frac{۴۰}{۳}$ cm　　ت) ۴۰ cm

۱۵. تصویر جسمی که از پشت یک تیغهٔ شیشه‌ای دیده شود چنین است

الف) مجازی، دورتر　　ب) مجازی، نزدیکتر　　پ) حقیقی، نزدیکتر　　ت) حقیقی، دورتر

۱۶. اگر ضریب شکست شیشه نسبت به آب $\frac{۹}{۸}$ و ضریب شکست الماس نسبت به شیشه $\frac{۸}{۵}$ باشد، نسبت سرعت نور در آب به سرعت نور در الماس کدام است؟

الف) $\frac{۴۵}{۶۴}$　　ب) $\frac{۵}{۹}$　　پ) $\frac{۶۴}{۴۵}$　　ت) $\frac{۹}{۵}$

تمرینها

۱. روی سطح آب حوضی به عمق ۱۵۰ سانتیمتر مقوایی به شکل دایره و به شعاع ۱۰ سانتیمتر قرار دارد. یک چشمهٔ نور نقطه‌ای را روی عمودی که از مرکز مقوا می‌گذرد به فاصلهٔ ۱۰ سانتیمتر از بالای آن قرار می‌دهیم. قطر سایه را بر کف حوض معین کنید. (ضریب شکست آب $\frac{۴}{۳}$ است.)

پاسخ: ۱۰۳/۷۵ cm

۲. ضریب شکست الماس نسبت به هوا ۲/۴۲ است. زاویهٔ حدّ الماس در هوا و در آب چقدر است؟ (ضریب شکست آب $n = \frac{۴}{۳}$ است.)

پاسخ: °۴۹

۳. نقطهٔ روشنی به فاصلهٔ ۳۰ سانتیمتر از یک آینهٔ کاو به شعاع ۲۰ سانتیمتر و روی محور اصلی آن قرار دارد. اگر یک تیغهٔ شیشه‌ای به ضخامت ۶ میلیمتر را در جلوی این نقطهٔ روشن قرار دهیم تغییر مکان تصویر نسبت به آینه چقدر است؟ ضریب شکست نور در شیشه ۳/۲ است و تصویر در فاصلهٔ بین شیشه و آینه قرار دارد.

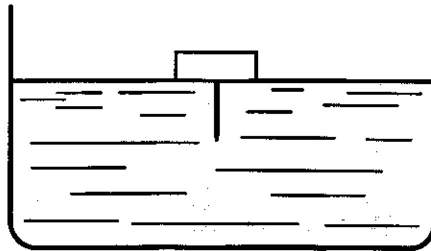
پاسخ: ۰٫۵ cm

۴. تفاوت سرعت نور در دو محیط شفاف به ضریب شکستهای n_1 و n_2 برابر Δv است. سرعت نور در هر محیط را برحسب اندازه‌های بالا به‌دست آورید؟

پاسخ: $v_1 = \dfrac{\Delta v n_1 n_2}{n_1(n_1 - n_2)}$ ، $v_2 = \dfrac{\Delta v n_1 n_2}{n_2(n_1 - n_2)}$

۵. سوزنی را مطابق شکل ۳-۲۰ به‌طور قائم در مرکز یک چوب پنبهٔ استوانه‌ای شکل به شعاع قاعدهٔ ۱٫۷ سانتیمتر فرو می‌کنیم و روی آب قرار می‌دهیم. معین کنید حداکثر طول سوزن که خارج از چوب پنبه قرار دارد باید چقدر باشد تا از بیرون آب دیده نشود (ضریب شکست آب $\frac{4}{3}$ است)؟

پاسخ: ۲٫۶ cm



شکل۳-۲۰

۶. چشم ناظری در هوا در نقطهٔ A و چشم ناظر دیگری در آب در نقطهٔ B قرار دارد. ناظر A ناظر B را در نقطهٔ B' و ناظر B ناظر A را در A' می‌بینند. ثابت کنید $\frac{BA'}{AB'} = n$. (n ضریب شکست آب نسبت به هواست.)

۷. در ظرفی که کلفتی شیشهٔ ته آن ۹ سانتیمتر است ($n_1 = \frac{3}{2}$) به ارتفاع ۱۰ سانتیمتر آب ($n_2 = \frac{4}{3}$) و ۱۴ سانتیمتر بنزن ($n_3 = 1.48$) می‌ریزیم و آن را روی سکه‌ای می‌گذاریم و از بالا به طور عمودی به سکه نگاه می‌کنیم. سکه چند سانتیمتر بالاتر دیده می‌شود؟

پاسخ: ۱۰ cm

۸. پشت یک تیغهٔ شیشه‌ای به ضخامت ۱۲ میلیمتر و ضریب شکست $\frac{3}{2}$ را نقره‌اندود می‌کنیم تا به آینهٔ تخت تبدیل شود. این آینهٔ شیشه‌ای از یک لامپ روشن دو تصویر مجازی تشکیل می‌دهد.

اگر فاصله لامپ از سطح شیشهٔ آینه ۲۰ سانتیمتر باشد، فاصلهٔ دو تصویر چقدر است؟

پاسخ: ۱۶ cm

۹. یک پرتو نوری در حالت مینیمم انحراف از منشوری می‌گذرد. اگر زاویهٔ رأس منشور °۶۰ و ضریب شکست آن ۱/۵ باشد، زاویهٔ تابش نور و زاویهٔ مینیمم انحراف را حساب کنید.

پاسخ: $i = ۴۸^\circ, ۳۶'$; $D_m = ۳۷^\circ, ۱۲'$

۱۰. یک پرتو نور به منشور شیشه‌ای می‌تابد. اگر زاویهٔ رأس منشور °۶۰ و زاویهٔ مینیمم انحراف °۳۰ باشد، معین کنید سرعت نور را در شیشه در صورتی‌که سرعت نور در خلأ $c = ۲ \times ۱۰^۸ \, \mathrm{m.s}$ باشد.

پاسخ: $v = ۲/۱۲ \times ۱۰^۸ \, \mathrm{m/s}$

۱۱. ضریب شکست نور در منشوری ۱/۵ است. وقتی این منشور در حالت مینیمم انحراف است که زاویهٔ تابش نور °۵۱ باشد. زاویهٔ رأس منشور و زاویهٔ مینیمم انحراف را حساب کنید.

پاسخ: $۳۹^\circ, ۳۶'$

۱۲. زاویهٔ انحراف نور در منشوری با زاویهٔ رأس کوچک °۵ است. اگر ضریب شکست نور در منشور ۱/۵ باشد، زاویهٔ رأس منشور چقدر است؟

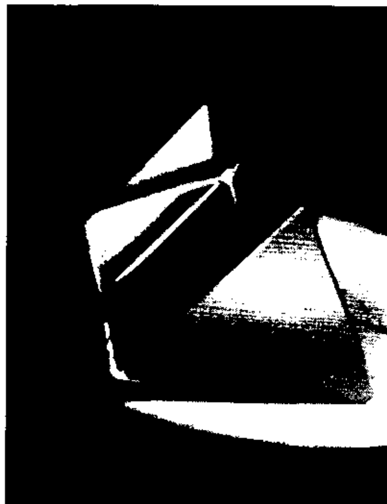
پاسخ: $A = ۱۰^\circ$

۴

منشور و پاشندگی

۴ـ۱ منشور

یکی از انواع حجمهای هندسی منشور[1] است. منشورهایی که برای مطالعهٔ پاشندگی نور به‌کار می‌روند از مواد شفافی مانند شیشه یا پلاستیک ساخته شده‌اند. ویژگیهای هر منشور ضریب شکست و زاویهٔ رأس منشور است. زاویهٔ رأس منشور زاویه‌ای است که میان دو وجه متقاطع منشور قرار دارد. این زاویه را با نماد A نشان می‌دهند. مقطع منشور می‌تواند چندضلعیهای مختلفی باشد ولی در فیزیک معمولاً از منشورهایی که قاعدهٔ آنها مثلث است، مانند شکل ۴-۱، استفاده می‌شود.



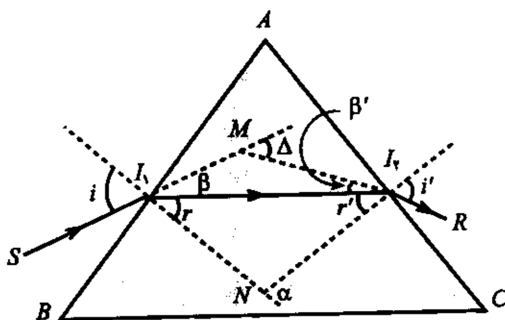
شکل۴-۱

1- prism

۲ـ۴ فرمولهای منشور

هرگاه یک دسته پرتو نور تکفام[1] را مطابق شکل ۴-۲ به وجه AB یک منشور با ضریب شکست n بتابانیم، این دسته پرتو در سطح AB منشور شکسته می‌شود. رابطهٔ زاویهٔ تابش و شکست برای این سطح چنین است

$$\sin i = n \sin r$$



شکل۴-۲

i زاویهٔ تابش پرتو SI_1 بر سطح AB و r زاویهٔ شکست این پرتو در این سطح و n ضریب شکست منشور است. این پرتو با زاویهٔ تابش r' به سطح AC می‌تابد و پس از شکست با زاویهٔ i' خارج می‌شود. برای این سطح هم می‌توان نوشت

$$\sin i' = n \sin r'$$

با استفاده از شکل ۴-۲ در چهارضلعی AI_1NI_2 داریم

$$\angle A + \angle AI_1N + \angle I_1NI_2 + \angle NI_2A = ۳۶۰^\circ$$

چون

$$\angle AI_1N = \angle NI_2A = ۹۰^\circ$$

است، پس مجموع دو زاویهٔ $A + I_1NI_2 = ۱۸۰^\circ$ و در نتیجه زاویهٔ خارجی مثلث I_1NI_2 یعنی α برابر A زاویهٔ رأس منشور است. از طرفی زاویهٔ α زاویهٔ خارجی مثلث I_1NI_2 و مقدار آن برابر است با

$$\angle\alpha = \angle r + \angle r'$$

به عبارت دیگر زاویهٔ رأس منشور برابر است با $A = r + r'$.

امتداد پرتو خروجی I_2R با امتداد پرتو ورودی SI_1 زاویه‌ای می‌سازد که به آن زاویهٔ انحراف

1- monochromatic

می‌گویند و اندازهٔ آن از رابطهٔ زیر به‌دست می‌آید، (Δ زاویهٔ خارجی مثلث MI_1I_2 است).

$$\Delta = \beta + \beta' = (i - r) + (i' - r')$$
$$= (i + i') - (r + r')$$

پس

$$\Delta = i + i' - A$$

رابطه‌های بالا نشان می‌دهد که زاویهٔ انحراف نور در منشور به زاویهٔ تابش، زاویهٔ رأس و ضریب شکست منشور بستگی دارد.

۴ـ۳ رابطهٔ زاویهٔ انحراف و ضریب شکست نور

اگر زاویهٔ تابش نور کوچک و کمتر از 6° باشد در رابطه‌های منشور به جای $\sin i$ می‌توان زاویهٔ i را برحسب رادیان قرار داد و اگر زاویهٔ رأس منشور هم کوچک و کمتر از 6° باشد دراین‌صورت زاویهٔ i' و r' نیز کوچک خواهد شد و رابطه‌های کلی منشور را می‌توان به صورت زیر نوشت

$$i = nr, \quad i' = nr'$$
$$\Delta = i + i' - A = nr + nr' - A$$
$$= n(r + r') - A = nA - A = A(n - 1)$$

مثال ۱. یک دسته نور موازی تکفام با زاویهٔ تابش $i = 45^\circ$ به منشوری با زاویهٔ رأس 75° برخورد می‌کند. اگر ضریب شکست منشور $n = \sqrt{2}$ باشد، زاویهٔ انحراف نور چند درجه است؟

حل:

$$\sin i = n \sin r$$
$$\sin 45^\circ = \sqrt{2} \sin r \ , \ \frac{\sqrt{2}}{2} = \sqrt{2} \sin r$$
$$\sin r = \frac{1}{2} \ , \ r = 30^\circ$$
$$A = r + r' \ , \ 75^\circ = 30^\circ + r' \Longrightarrow r' = 45^\circ$$
$$\sin i' = n \sin r' \Longrightarrow \sin i' = \sqrt{2} \sin 45^\circ \Longrightarrow i = 90^\circ$$
$$\Delta = i + i' - A = 45^\circ + 90^\circ - 75^\circ = 60^\circ$$

▲

مثال ۲. زاویهٔ رأس منشوری 6° و ضریب شکست منشور ۱/۴ است. زاویهٔ انحراف برای یک دسته نور موازی چند درجه است؟

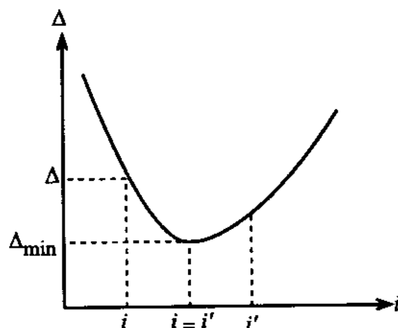
حل:

$$\Delta = A(n-۱) = ۶(۱/۴ - ۱) = ۲/۴^\circ$$

▲

۴ـ۴ رابطهٔ زاویهٔ انحراف با زاویهٔ تابش ـ مینیمم انحراف

آزمایش نشان می‌دهد که اگر زاویهٔ تابش از ۹۰° تا صفر درجه تغییر کند، زاویهٔ انحراف مطابق شکل ۴-۳ ابتدا کاهش و سپس افزایش می‌یابد. کوچکترین زاویهٔ انحراف را مینیمم انحراف[1]، Δ_{min} گویند. آزمایش نشان می‌دهد که در حالت مینیمم انحراف زاویهٔ تابش با زاویهٔ خروجی نور با هم برابرند یعنی $i = i'$. می‌توان با استفاده از محاسبه‌های زیر تساوی i و i' را ثابت کرد.



شکل۴-۳

اگر از رابطه‌های زیر نسبت به زاویه‌های i و r دیفرانسیل بگیریم داریم

$$\sin i = n \sin r \Rightarrow \cos i di = n \cos r dr$$

$$\sin i' = n \sin r' \Rightarrow \cos i' di' = n \cos r' dr'$$

از تقسیم این دو رابطه بر یکدیگر نتیجه می‌شود

$$\frac{\cos i' di'}{\cos i di} = \frac{\cos r' dr'}{\cos r dr} \Longrightarrow \frac{di'}{di} = \frac{\cos r' \cos i dr'}{\cos i' \cos r dr}$$

با توجه به آنکه $r + r' = A$ است، پس $dr + dr' = ۰$ و درنتیجه $dr = -dr'$ است و می‌توان نوشت

$$\frac{di'}{di} = -\frac{\cos r' \cos i}{\cos r \cos i'}$$

برای تعیین زاویهٔ مینیمم انحراف از رابطهٔ $\Delta = i + i' - A$ مشتق می‌گیریم و آن را مساوی صفر می‌گذاریم

$$\frac{d\Delta}{di} = ۱ + \frac{di'}{di} = ۰$$

1- minimum of deviation

بنابراین

$$\frac{\cos r' \cos i}{\cos r \cos i'} = ۱ \Rightarrow \frac{\cos i}{\cos r} = \frac{\cos i'}{\cos r'}$$

اگر دو طرف رابطهٔ بالا را مجذور کنیم داریم

$$\frac{\cos^۲ i}{\cos^۲ r} = \frac{\cos^۲ i'}{\cos^۲ r'} \quad \text{یا} \quad \frac{۱-\sin^۲ i}{۱-\sin^۲ r} = \frac{۱-\sin^۲ i'}{۱-\sin^۲ r'}$$

$$\frac{۱-\sin^۲ i}{۱-\dfrac{\sin^۲ i}{n^۲}} = \frac{۱-\sin^۲ i'}{۱-\dfrac{\sin^۲ i'}{n^۲}}$$

$$\frac{۱-\sin^۲ i}{n^۲-\sin^۲ i} = \frac{۱-\sin^۲ i'}{n^۲-\sin^۲ i'}$$

رابطهٔ بالا وقتی برقرار است که $i = i'$ باشد، درنتیجه $r = r'$ خواهد بود. پس داریم

$$\Delta_{\min} = i + i' - A = ۲i - A \Longrightarrow i = \frac{\Delta_{\min} + A}{۲}$$

$$A = r + r' \Longrightarrow A = ۲r \ , \ r = \frac{A}{۲}$$

$$n = \frac{\sin i}{\sin r} \Longrightarrow n = \frac{\sin \dfrac{\Delta_{\min} + A}{۲}}{\sin \dfrac{A}{۲}}$$

مثال ۳. اگر در منشوری ضریب شکست برابر $\sqrt{۳}$ و زاویهٔ رأس با زاویهٔ مینیمم انحراف برابر باشد ($A = \Delta_{\min}$)، مطلوب است اندازهٔ زاویه‌های A، r و i.

حل: با استفاده از حالت مینیمم انحراف و با توجه به اینکه بنابر فرض $A = \Delta_{\min}$ می‌توان نوشت

$$n = \frac{\sin \dfrac{\Delta_m + A}{۲}}{\sin \dfrac{A}{۲}} = \frac{\sin \dfrac{A + A}{۲}}{\sin \dfrac{A}{۲}} \Longrightarrow n = \frac{\sin A}{\sin \dfrac{A}{۲}}$$

$$n = \frac{۲ \sin \dfrac{A}{۲} \cos \dfrac{A}{۲}}{\sin \dfrac{A}{۲}} \Longrightarrow n = ۲ \cos \frac{A}{۲} \Longrightarrow \sqrt{۳} = ۲ \cos \frac{A}{۲}$$

به این ترتیب

$$\cos \frac{A}{۲} = \frac{\sqrt{۳}}{۲} \Longrightarrow \frac{A}{۲} = ۳۰^\circ \Longrightarrow A = ۶۰^\circ$$

$$r = \frac{A}{۲} = ۳۰^\circ$$

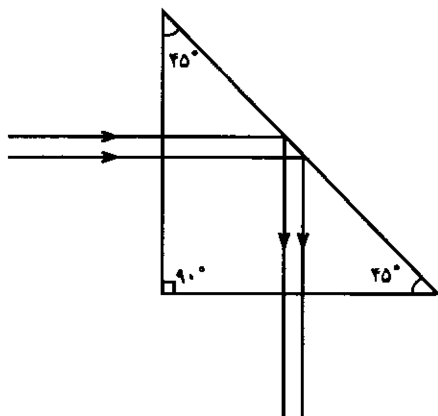
$$\sin i = n \sin r \Longrightarrow \sin i = \sqrt{۳} \sin ۳۰^\circ, \qquad \sin i = \frac{\sqrt{۳}}{۲} \Longrightarrow i = ۶۰^\circ$$

▲

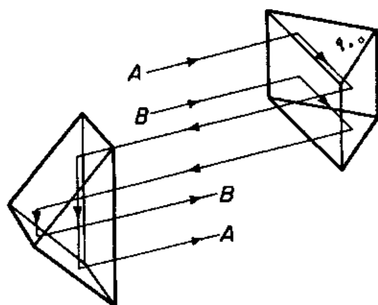
۵ـ۴ بازتاب کلی در منشور

پرتوهای نور با هر زاویهٔ تابش می‌توانند از محیط رقیق مانند هوا به محیط غلیظ مانند شیشه وارد شوند ولی اگر زاویهٔ تابش نور بیش از زاویهٔ حد باشد نور نمی‌تواند از محیط غلیظ به محیط رقیق انتشار یابد.

برای منشورهای شیشه‌ای زاویهٔ حد شکست نور حدود °۴۲ است، بنابراین اگر نوری مطابق شکل ۴-۴ به منشوری که قاعدهٔ آن مثلث قائم‌الزاویه متساوی‌الساقین است برخورد کند بازتاب کلی می‌یابد. از خاصیت بازتاب کلی در منشور می‌توان استفاده کرد و نور را از یک مسیر به مسیرهای دیگر منتقل کرد. در شکل ۴-۵ نور به کمک دو منشور بازتاب کلی از یک مسیر به مسیر دیگر منتقل شده است.

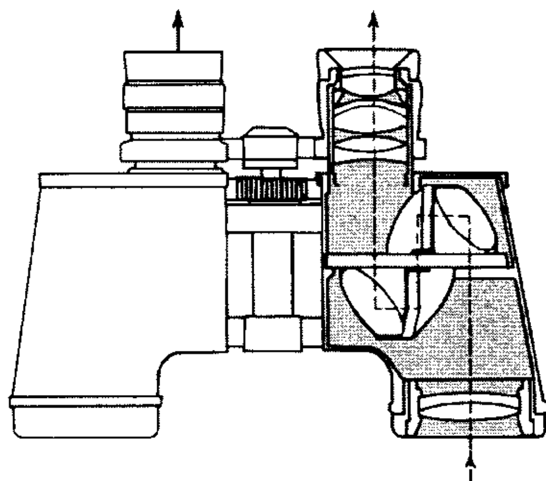


شکل ۴-۴



شکل ۴-۵

از این نوع منشورها در دوربینهای دوچشمی مطابق شکل ۴-۶ استفاده می‌شود.



شکل ۴-۶

مثال ۴. یک دسته نور تکفام به یک وجه منشوری با زاویهٔ رأس ۶۰° برخورد می‌کند و با کمترین زاویهٔ انحراف ۳۰° از وجه دیگر خارج می‌شود. مطلوب است

الف) ضریب شکست نور.

ب) سرعت نور در این منشور.

حل: الف) با توجه به اینکه $A = ۶۰^\circ$ و $\Delta_m = ۳۰^\circ$ است و منشور در حالت مینیمم انحراف قرار دارد، خواهیم داشت

$$n = \frac{\sin \frac{A+\Delta_m}{۲}}{\sin \frac{A}{۲}} = \frac{\sin \frac{۶۰^\circ + ۳۰^\circ}{۲}}{\sin \frac{۶۰^\circ}{۲}}$$

$$= \frac{\sin ۴۵^\circ}{\sin ۳۰^\circ} = \frac{\sqrt{\frac{۲}{۲}}}{\frac{۱}{۲}} \Longrightarrow n = \sqrt{۲}$$

ب) از طرف دیگر داریم

$$n = \frac{c}{v} \Longrightarrow v = \frac{c}{n} = \frac{۳ \times ۱۰^۸}{\sqrt{۲}}$$

$$v = ۲/۱۲ \times ۱۰^۸ \, \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$$

▲

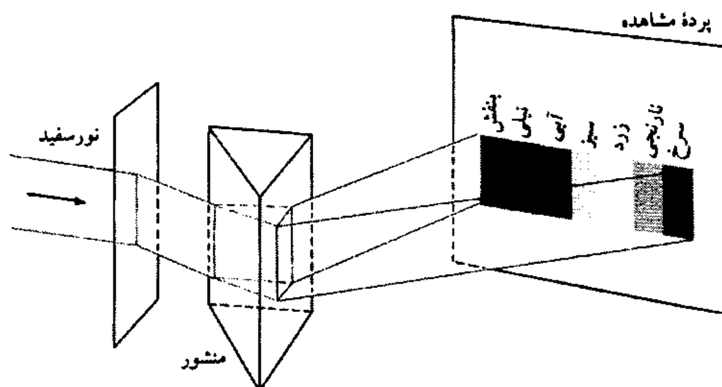
۴ـ۶ پاشندگی نور سفید در منشور

هرگاه یک دسته نور سفید را مطابق شکل ۴-۷ به منشوری بتابانیم، پاشیده می‌شود و به شکل یک طیف رنگی از وجه دیگر منشور بیرون می‌آید. چنانچه صفحه‌ای در برابر پرتوهای خروجی قرار دهیم مشاهده می‌شود که نور سرخ نسبت به امتداد نور سفید اولیه دارای کمترین زاویهٔ انحراف و نور بنفش بیشترین زاویه انحراف را دارد. این عمل پاشندگی[1] در منشور نامیده می‌شود.

نیوتون طیف نور خورشید را با استفاده از یک سوراخ گرد کوچک که در پنجرهٔ اتاق وجود داشت، تشکیل داد. از این سوراخ نور خورشید عبور می‌کرد و در مسیر آن منشوری قرار می‌گرفت که نور را پاشیده می‌کرد و طیف حاصل بر دیوار مقابل پنجره دیده می‌شد. نیوتون علت تشکیل طیف را به صورت زیر بیان کرده است:

«نور سفید مجموعه‌ای از رنگهای مختلف است. ضریب شکست شیشه برای هر یک از این رنگها متفاوت است. بنابراین وقتی یک دسته پرتو نور سفید بر منشور می‌تابد هر رنگ با زاویهٔ شکست ویژه‌ای که برای رنگهای مختلف متفاوت است شکست می‌یابد. درنتیجه رنگهای تشکیل دهندهٔ نور

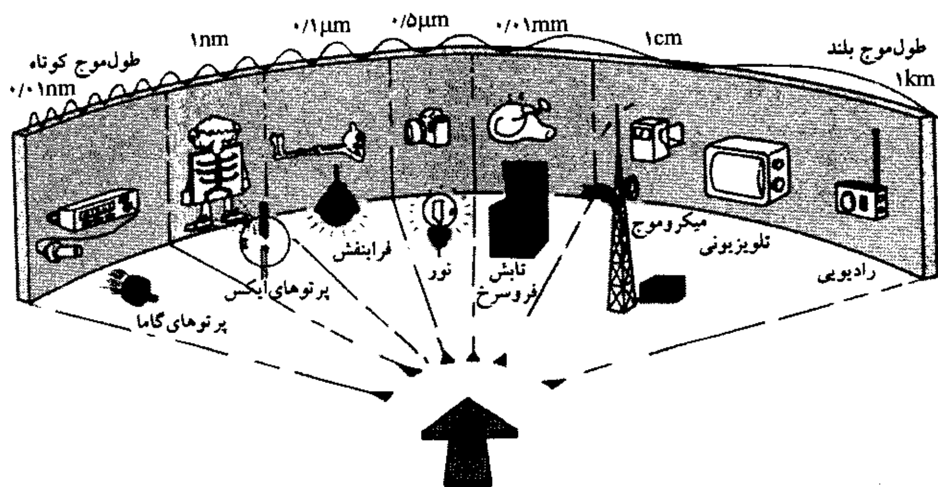
1- dispersion



شکل۴-۷

سفید از هم جدا می‌شوند و به شکل رنگهای مختلف دیده می‌شوند». مجموعهٔ این رنگها طیف[1] یا بیناب نامیده می‌شود. رنگهای مشخص در طیف نور سفید به ترتیب عبارت‌اند از: سرخ، نارنجی، زرد، سبز، آبی، نیلی و بنفش. اکنون معلوم شده است که پرتوهای نور، بخشی از طیف گستردهٔ امواج الکترومغناطیسی هستند که طول موج آنها میان ۰٫۴ میکرون تا حدود ۰٫۸ میکرون است. در این فاصله بینهایت موج و درنتیجه بینهایت رنگ وجود دارد.

شکل ۴-۸ طیف امواج الکترومغناطیسی و چشمهٔ تولید و کاربرد هر بخش را نشان می‌دهد. به‌طوری که در شکل دیده می‌شود پرتوهای نور فقط بخش کوچکی از این طیف گسترده است.



شکل۴-۸

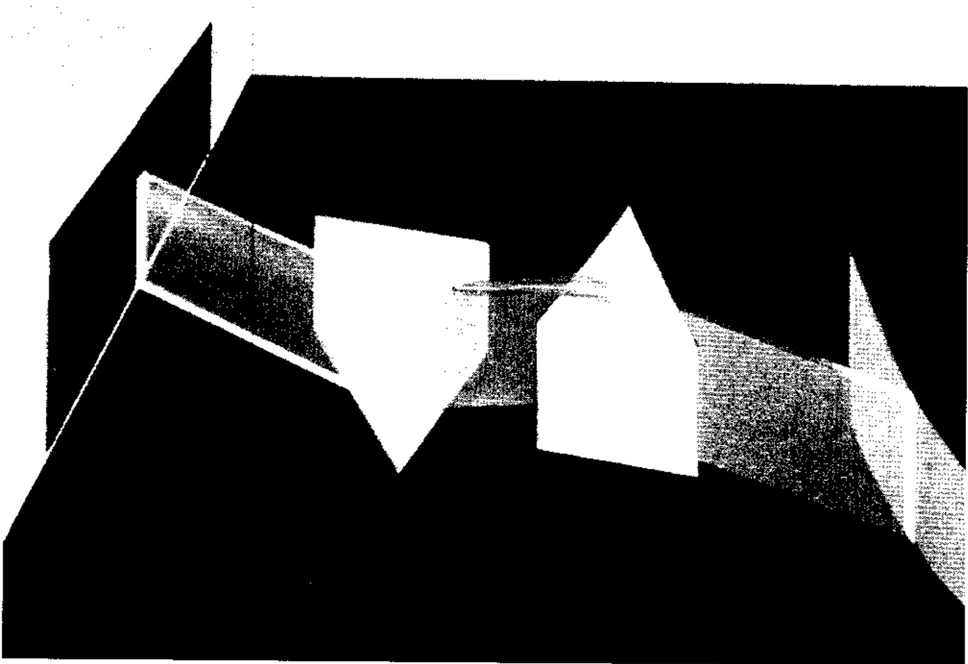
1- spectrum

۴ـ۷ آمیختن رنگهای طیف نور

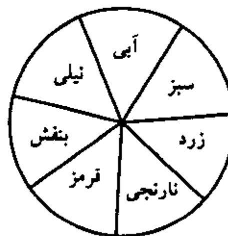
نور سفید را می‌توان با منشور به رنگهای ساده پاشیده کرد. از آمیختن نورهای سادهٔ موجود در طیف نور سفید هم می‌توان نور سفید به‌وجود آورد. برای این کار از روش دو منشور یا از قرص نیوتون استفاده می‌شود.

هرگاه دو منشور را مطابق شکل ۴-۹ در مجاورت یکدیگر قرار دهیم، منشور اول نور را پاشیده می‌کند و منشور دوم نورهای رنگین را با هم می‌آمیزد و از ترکیب آنها نور سفید تشکیل می‌شود.

قرص نیوتون صفحه‌ای است که روی آن قطاعهایی به رنگهای طیف سفید و به ترتیب شکل ۴-۱۰ قرار دارد. اگر این قرص با سرعت چرخانیده شود، سفید به نظر می‌رسد (چرا)؟



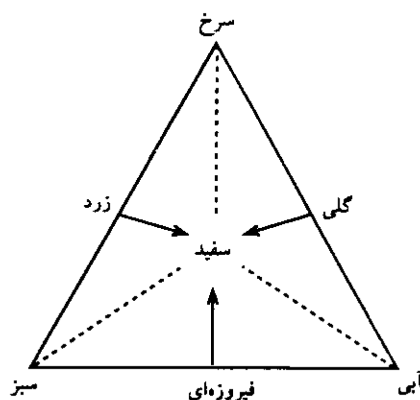
شکل ۴-۹



شکل ۴-۱۰

۸ـ۴ نور خالص و نور مرکب

هرگاه نور سرخ یا سبز را که در طیف نور خورشید موجود است بار دیگر از منشور عبور دهیم، این نورها تجزیه نمی‌شوند. چنین نورهایی را نور خالص یا نور تکفام می‌نامند. سرعت نور خالص در محیطهای شفاف معین همواره یک مقدار ثابت است. نوری که در منشور تجزیه شود، نور مرکب است. سرعت و ضریب شکست برای اجزای یک نور مرکب متفاوت است به همین دلیل زاویهٔ انحراف نور برای اجزای یک نور مرکب که از منشور می‌گذرد متفاوت خواهد بود و نور مرکب پاشیده می‌شود. سه رنگ سبز، سرخ و آبی که با آنها می‌توان نور سفید و هر رنگ دیگر را تهیه کرد رنگهای اصلی می‌نامند. در مثلث شکل ۴-۱۱ می‌توان رنگهای نوری را که با سه نور اصلی به‌وجود می‌آید ملاحظه کرد



شکل۴-۱۱

زرد ⟵ سبز + سرخ

گلی ⟵ آبی + سرخ

فیروزه‌ای ⟵ آبی + سبز

سفید ⟵ آبی + سبز + سرخ

هر دو نوری را که با آمیختن آنها نور سفید به‌وجود آید نورهای مکمل می‌نامند. زرد با آبی، گلی با سبز، فیروزه‌ای با سرخ مکمل‌اند.

۹ـ۴ رنگ مواد

رنگ هر جسم مربوط به اثر نور تابیده از آن جسم بر چشم است. این نور می‌تواند از خود جسم تابیده شود یا آنکه جسم آن نور را باز بتاباند و به چشم ناظر برساند. چشم انسان نسبت به موجهایی با طول موجهای حدود ۴۰۰ تا ۷۰۰ نانومتر (۰٫۴ تا ۰٫۷ میکرون) حساس است و هر بخش از این محدوده را

به یکی از رنگهای طبیعی می‌بیند. طول موج ۰/۷ میکرون به رنگ سرخ و طول موج ۰/۴ میکرون به رنگ بنفش دیده می‌شود.

گوش انسان نسبت به موجهای مکانیکی حساس است. گوش می‌تواند ارتعاشهای مختلف صوتی را به شکل صداهای گوناگون زیر و بم بشنود. هر چه بسامد صوتی بیشتر باشد صدا زیرتر است. چشم هم نسبت به قسمتی از موجهای الکترومغناطیسی حساس است. هر چه بسامد موج نوری بیشتر باشد رنگ جسم نوردهنده به رنگ بنفش نزدیکتر است.

نوری که به چشم می‌رسد روی شبکیه متمرکز می‌شود. شبکیه از دو نوع سلول حساس به نور استوانه‌ای و مخروطی پوشیده شده است. سلولهای استوانه‌ای نسبت به شدت نور بسیار حساس‌اند. سلولهای مخروطی شامل رنگدانه‌هایی هستند که نسبت به طول موج و بسامد نور حساس‌اند. سه نوع رنگدانه وجود دارد. هر سلول مخروطی دارای یکی از این رنگدانه‌هاست. سلولهای مخروطی می‌توانند نور سرخ، نور سبز و نور آبی را تشخیص دهند. اگر به هر سه دسته سلول مخروطی با هم این نورها بتابد نور سفید دیده می‌شود.

رنگ یک خاصیت روانشناختی نور است. رابطهٔ نور و رنگ به خواص فیزیکی نور و ویژگیهای روانی فرد بستگی دارد.

رنگ هر جسم به چهار عامل بستگی دارد:

۱. نوری که به جسم می‌تابد.

۲. مادهٔ شیمیایی که سطح خارجی جسم را می‌پوشاند.

۳. محیط میان جسم و چشم ناظر.

۴. چشم ناظر.

اجسام در نور سفید و نورهای رنگی متفاوت به رنگهای مختلف دیده می‌شوند. با استفاده از جدول ۴-۱ می‌توان رنگ یک جسم را در نورهای مختلف مشخص کرد. در نخستین ستون قائم در طرف راست، نور سفید و نورهای اصلی و مکمل تابیده بر جسم آمده است. در ردیف افقی بالا، رنگ جسم در نور خورشید (نور سفید) نوشته شده است. چنانچه بخواهیم مثلاً رنگ جسمی را که در نور سفید زرد است و به آن نور سبز می‌تابد مشخص کنیم، نور سبز را از نخستین ستون قائم مشخص می‌کنیم و روی ردیف مقابل آن جلو می‌رویم تا به رنگی برسیم که در زیر ردیف زرد بالایی قرار دارد. ملاحظه می‌شود که به رنگ سبز می‌رسیم. بنابراین طبق این دستورالعمل جسمی که در نور خورشید به رنگ فیروزه‌ای است در نور سرخ تیره دیده می‌شود.

جدول ۴-۱ رنگ اجسام در نورهای گوناگون

	سفید	سرخ	سبز	آبی	زرد	فیروزه‌ای	گلی
سفید	سفید	قرمز	سبز	آبی	زرد	فیروزه‌ای	گلی
سرخ	سرخ	سرخ	تیره	تیره	سرخ	تیره	سرخ
سبز	سبز	تیره	سبز	تیره	سبز	سبز	تیره
آبی	آبی	تیره	تیره	آبی	تیره	آبی	آبی
زردمرکب	زرد	سرخ	سبز	تیره	زرد	سبز	سرخ
فیروزه‌ای	فیروزه‌ای	تیره	سبز	آبی	سبز	فیروزه‌ای	آبی
گلی	گلی	سرخ	تیره	آبی	سرخ	آبی	گلی

توجه داریم که جسم به رنگ سفید هر نوری را که به آن بتابد بازتابیده می‌کند. بنابراین چنین جسمی به رنگ نوری دیده می‌شود که به آن بتابد.

جسم سیاه در نور سفید، هر نوری را جذب می‌کند، بنابراین جسم سیاه در هر نوری تیره دیده می‌شود. محیط میان جسم و چشم ناظر از نظر رنگ نیز اهمیت دارد. بعضی محیطها به‌طور یکسان بخشی از همهٔ نورها را جذب می‌کنند. دراین‌صورت از پشت چنین محیطی همهٔ اجسام به یک اندازه کم‌رنگ می‌شوند. ولی ممکن است محیط بعضی از نورها را جذب کند و بعضی دیگر را عبور دهد، دراین‌صورت جسم به رنگی که از محیط شفاف می‌گذرد و به جسم می‌رسد دیده می‌شود. مثلاً اگر شیشهٔ عینک سبز باشد هر جسمی که مقابل چشم قرارگیرد سبز یا تیره دیده می‌شود.

چشم ناظر هم در تشخیص رنگ اجسام مؤثر است. در بیماری کوررنگی یا دالتونیسم بعضی از افراد در تشخیص رنگها اشتباه می‌کنند. از این‌رو در امتحان رانندگی، چشم افراد از نظر رنگهای نور که تشخیص می‌دهند نیز امتحان می‌شود.

۴ـ۱۰ صنعت رنگسازی

رنگ، ترکیبی از رزین، رنگیزه (پیگمنت)، حلال و سایر موادی است که بر سطح موردنظر به منظور رسیدن به هدفهای زیر پاشیده می‌شود یا آنکه با مواد سازندهٔ جسمی مخلوط یا ترکیب می‌شود.

۱. حفاظت[1] در برابر آب، بخار، نور خورشید، تغییرات دما و جلوگیری از پوسیدگی.

۲. بهداشت و پاکیزگی[2]. رنگ می‌تواند آلودگی را مشخص سازد.

۳. زیباسازی[3]. رنگها مخصوصاً ترکیب آنها می‌تواند مناظر زیبا به‌وجود آورد.

۴. روشنایی[4]. با بهره‌گیری از رنگهای روشن می‌توان بازدهی چشمه‌های نور را افزایش داد.

1- corrosion protection 2- sanitation and cleanliness 3- appearance 4- Illumination

۵. بینایی و ایمنی[1]. با استفاده از رنگهای خاص می‌توان علائم مشخصی را برای افزایش دید و ایجاد ایمنی به‌کار برد. مثلاً رنگ لباس رفتگران در شب یا در پیچ جاده‌ها که از رنگهای مخصوص استفاده می‌شود.

۶. برای کاهش یا افزایش اصطکاک.

در صنعت، رنگها را برای محافظت فلزات در برابر خوردگی به‌کار می‌برند. مثلاً قسمتهایی از بدنهٔ کشتی که در آب قرار دارد، یا لوله‌های آب، نفت و گاز که در زیر خاک قرار می‌گیرند با پوششی از رنگ باید از خوردگی محافظت شوند.

طول عمر پوششها به درجهٔ آماده‌سازی، شرایط محیطی و نوع پوشش بستگی دارد. آماده‌سازی، کارهایی است که روی سطح صورت می‌گیرد تا رنگ به‌طور کامل روی سطح قرار گیرد و به آن بچسبد. در آماده‌سازی سطح را از هرگونه رطوبت، روغن، زنگ و دیگر آلودگیها پاک می‌کنند.

خلاصهٔ فصل

منشور جسم شفافی است که می‌تواند نور مرکب را تجزیه کند. ویژگیهای هر منشور ضریب شکست و زاویهٔ رأس آن است. هرگاه یک دسته نور تکفام به منشوری بتابد، این نور پس از دوبار شکست در منشور از امتداد دیگری خارج می‌شود. زاویهٔ میان امتداد ورود نور به منشور و خروج نور از آن را زاویهٔ انحراف نور می‌نامند. زاویهٔ انحراف نور به زاویهٔ تابش i، ضریب شکست نور، n و زاویهٔ رأس منشور، A بستگی دارد.

وقتی زاویهٔ تابش i با زاویهٔ خروجی i' برابر باشد، زاویهٔ انحراف کمترین مقدار خود را دارد که آن را زاویهٔ مینیمم انحراف می‌نامند.

نورهایی را که منشور نمی‌تواند تجزیه کند نور ساده یا تکفام می‌نامند. نور مرکب نوری است که از تعدادی نور ساده به‌وجود آمده و می‌تواند تجزیه شود.

رنگ هر جسم مربوط به نوری است که به آن تابیده یا از آن بازتابیده می‌شود و به چشم بیننده می‌رسد. رنگ هر جسم به عوامل زیر بستگی دارد:

۱. نوری که به جسم تابیده

۲. جنس مادهٔ پوشش خارجی جسم

۳. محیطی که میان جسم و چشم قرار دارد

۴. چشم و حساسیت آن

1- visilility and safety

هدفهای آموزشی

اکنون که این فصل را به پایان رسانیده‌اید باید بتوانید

- منشور را تعریف کنید و شرح دهید.
- آزمایش نیوتون را شرح دهید.
- رنگهای موجود در نور سفید را نام ببرید.
- پاشیدگی نور و علت آن را شرح دهید.
- فرمولهای منشور را در حالت کلی محاسبه کنید.
- رابطهٔ زاویهٔ انحراف با زاویهٔ رأس را محاسبه کنید.
- زاویهٔ مینیمم انحراف نور در منشور را شرح دهید و محاسبه کنید.
- منشور بازتاب کلی را شرح دهید.
- نورهای ساده و مرکب را شرح دهید.
- رنگ و رنگدانه را شرح دهید.
- عواملی که رنگ اجسام را مشخص می‌کنند شرح دهید.
- رنگ هر جسم را با استفاده از جدول رنگها مشخص کنید

خود را بیازمایید

پرسشها

۱. اصطلاحهای زیر را تعریف کنید:
زاویهٔ رأس، زاویهٔ انحراف، منشور بازتاب کلی، زاویهٔ مینیمم انحراف.

۲. مسیر یک پرتو نور را در منشور رسم کنید.

۳. رابطه‌های بین زاویه‌های تابش، خروج، رأس و انحراف در منشور را بنویسید.

۴. رابطهٔ ضریب شکست نور با زاویهٔ مینیمم انحراف در منشور را محاسبه کنید.

۵. دلیل پاشیده شدن نور مرکب در منشور را شرح دهید.

۶. منشور بازتاب کلی چیست؟ در چه صورت پرتوهای نور نمی‌توانند از وجه مقابل منشور بگذرند؟

۷. بر جسمی که در نور خورشید به رنگ زرد دیده می‌شود، نور فیروزه‌ای می‌تابد. این جسم به چه رنگ دیده می‌شود؟

۸. شکلی رسم کنید که با استفاده از منشور بازتاب کلی، پرتوها منتقل و جابه‌جا شوند.

۹. نورهای اصلی و نورهای مکمل کدام‌اند؟

۱۰. مکمل نور آبی و مکمل نور سبز کدام است؟

پرسشهای چهارگزینه‌ای

۱. در منشوری که ضریب شکست آن ۲ و زاویهٔ رأسش °۶ است زاویهٔ مینیمم انحراف چند درجه است؟

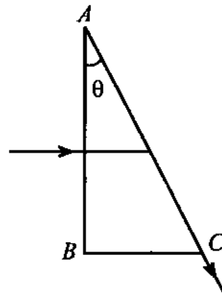
الف) °۱۲ ب) °۹ پ) °۶ ت) °۳

۲. کدام پرتو هنگام عبور از منشور بیشترین انحراف را پیدا می‌کند؟

الف) زرد ب) سبز پ) سرخ ت) بنفش

۳. در شکل ۴-۱۲ مسیر نور در منشور نشان داده شده است. ضریب شکست منشور برابر است با

الف) $\sin\theta$ ب) $\frac{1}{\sin\theta}$ پ) $\tan\theta$ ت) $\cos\theta$

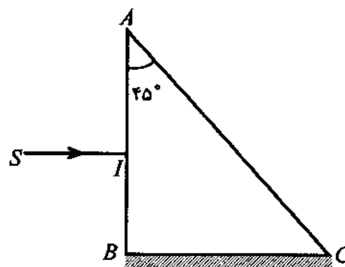


شکل۴-۱۲

۴. در شکل ۴-۱۳ زاویهٔ حد منشور ۴۲ درجه و وجه BC آن نقره‌اندود شده است. پرتو نور SI عمود بر وجه AB می‌تابد. این پرتو

الف) از وجه AC مماس خارج می‌شود. ب) از وجه BC، خارج می‌شود.

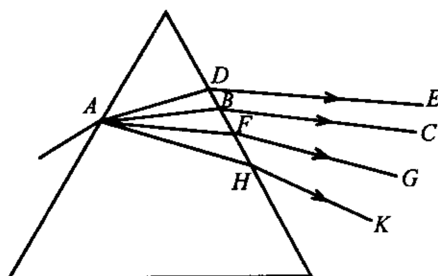
پ) از وجه AC ، عمودی خارج می‌شود. ت) روی خودش باز می‌گردد.



شکل۴-۱۳

۵. شکل ۴-۱۴ تجزیهٔ نور در منشور را نشان می‌دهد. اگر پرتو ABC مربوط به نور آبی باشد، کدامیک از پرتوها مربوط به نور قرمز است؟

الف) ADE ب) ABC پ) AFG ت) AHK



شکل۴-۱۴

۶. سه رنگ اصلی نور سفید کدام‌اند؟

الف) قرمز، سبز، آبی. ب) گلی، فیروزه‌ای، زرد.

پ) فیروزه‌ای، سبز، آبی. ت) قرمز، گلی، آبی.

۷. کدام رنگ می‌تواند مکمل دو نور قرمز و سبز باشد؟

الف) گلی ب) فیروزه‌ای پ) آبی ت) زرد

۸. اگر نور سفید را از شیشه آبی عبور داده و به یک پارچهٔ قرمز بتابانیم آن را به چه رنگ می‌بینیم؟

الف) تیره ب) آبی پ) قرمز ت) گلی

۹. اگر به گیاهی که برگهای سبز و گلهای قرمز دارد نور سبز بتابانیم، برگ و گل آن را به ترتیب به چه رنگ می‌بینیم؟

الف) قرمز، تیره ب) قرمز، زرد پ) سبز، سیاه ت) سبز، زرد

۱۰. اگر به گل نرگس زرد نور سبز بتابانیم به چه رنگ دیده می‌شود؟

الف) قرمز، زیرا از به‌هم آمیختن دو نور سبز و قرمز، نور زرد حاصل می‌شود.

ب) زرد، زیرا زرد یک رنگ غالب است که در مقابل هر رنگ نور دیگر اثر خود را حفظ می‌کند.

پ) سبز، زیرا رنگ زرد نرگس مرکب است که نورهای سبز و قرمز را باز می‌تاباند.

ت) تیره، زیرا گل نرگس زرد هر رنگ نور به جز زرد را جذب می‌کند.

۱۱. کاغذی که در نور سفید به رنگ آبی دیده می‌شود، در زیر کدامیک از نورهای زیر نیز آبی دیده می‌شود؟

الف) زرد ب) سبز پ) گلی و فیروزه‌ای ت) گلی

۱۲. پرتو نوری به یک وجه منشوری می‌تابد و از وجه دیگر با زاویهٔ برابر با زاویهٔ تابش خارج می‌شود ($i' = i$). اگر زاویهٔ تابش را ۱۰ درجه کاهش دهیم و باز نور از منشور خارج شود، در مورد زاویهٔ خروجی می‌توان گفت

الف) بیشتر از ۱۰ درجه افزایش می‌یابد. ب) بیشتر از ۱۰ درجه کاهش می‌یابد.

پ) کمتر از ۱۰ درجه کاهش می‌یابد. ت) کمتر از ۱۰ درجه افزایش می‌یابد.

۱۳. در پریسکوپ منشوری از کدام پدیدهٔ نوری استفاده می‌شود؟

الف) شکست ب) بازتاب کلی پ) پاشندگی ت) جذب نور

۱۴. هرگاه یک دسته نور بنفش را روی پارچهٔ سفیدی بتابانیم، پارچه به کدام رنگ دیده می‌شود؟

الف) سفید ب) آبی پ) بنفش ت) تیره

۱۵. روی صفحهٔ کاغذ سفیدی علامتی به رنگ سبز کشیده شده است. اگر شب هنگام در نور سرخ به آن نگاه کنیم علامت به چه رنگی دیده می‌شود؟

الف) تیره ب) سبز پ) سرخ ت) زرد

۱۶. جسمی که فقط نور آبی را جذب می‌کند در نور سفید به چه رنگ دیده می‌شود؟

الف) زرد ب) سبز پ) سرخ ت) نارنجی

۱۷. مکمل رنگ زرد کدام است؟

الف) آبی ب) فیروزه‌ای پ) سرخ ت) گلی

۱۸. در یک اتاق تاریک اگر روی پرده‌ای نور سفید بتابانیم به رنگ قرمز دیده می‌شود. اگر بر این پرده نور آبی بتابانیم به چه رنگ دیده خواهد شد؟

الف) آبی ب) تیره پ) سرخ ت) گلی

۱۹. ضریب شکست یک منشور شیشه‌ای برای کدامیک از رنگهای نور کمترین است؟

الف) بنفش ب) سبز پ) سرخ ت) آبی

۲۰. علت پاشیدگی نور سفید در منشور این است که

الف) نور سفید از رنگهای مختلف تشکیل شده است.

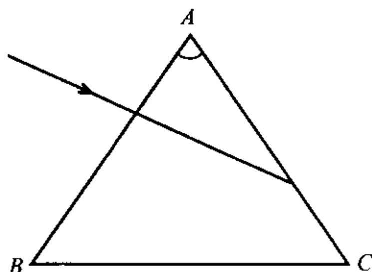
ب) سرعت نور در هوا و منشور متفاوت است.

پ) ضریب شکست منشور برای رنگهای مختلف نور متفاوت است.

ت) نور از محیط رقیق وارد محیط غلیظ منشور می‌شود.

تمرینها

۱. مقطع یک منشور شیشه‌ای مثلث متساوی‌الاضلاع است. هرگاه ضریب شکست این منشور $n = \sqrt{2}$ باشد و پرتوهایی مطابق شکل ۴-۱۵ عمود بر وجه AB به آن بتابد، چگونه و از کدام وجه خارج می‌شود؟



شکل۴-۱۵

پاسخ: عمود بر BC

۲. زاویهٔ رأس منشور متساوی‌الساقینی ۶۰ درجه و ضریب شکست آن $\sqrt{۳}$ است. اگر آن را در مایعی به ضریب شکست ۱٫۵ قرار دهیم یک پرتو نور که موازی قاعده به آن بتابد با چه زاویه‌ای از منشور خارج می‌شود؟

پاسخ: ۴۴°

۳. زاویهٔ رأس منشوری ۷۵ درجه و زاویهٔ حد آن ۴۵ درجه است. یک پرتو تکفام را با زاویهٔ ۴۵ درجه به یک وجه آن می‌تابانیم، مطلوب است: (۱) ضریب شکست منشور، (۲) زاویهٔ انحراف منشور.

پاسخ: $\sqrt{۲}$، ۶۰°

۴. زاویهٔ رأس منشوری ۷۵° و ضریب شکست آن $\sqrt{۲}$ است. اگر زاویهٔ تابش از ۴۵° تا ۹۰° تغییر کند، زاویهٔ خروجی در چه حدودی تغییر می‌کند؟

پاسخ: از ۹۰° تا ۴۵°

۵. زاویهٔ رأس منشوری $A = ۶۰^\circ$ است. اگر ضریب شکست منشور $n = \sqrt{۲}$ باشد، زاویهٔ مینیمم انحراف برای این منشور چقدر است؟

پاسخ: ۳۰°

۶. نوری به طور عمود بر یک وجه منشوری که مقطع آن مثلث قائم‌الزاویهٔ متساوی‌الساقین است برخورد می‌کند. با رسم شکل نشان دهید که پرتو نور از کدام وجه خارج می‌شود، $n = \sqrt{۲}$.

۷. یک باریکهٔ نور سفید با زاویهٔ تابش ۴۵ درجه به منشوری برخورد می‌کند. تفوت زاویهٔ انحراف نور برای رنگهای بنفش و سرخ چقدر است، درصورتی‌که ضریب شکست نور برای رنگ سرخ $n_r = ۱٫۵۱۵$ و برای رنگ بنفش $n_v = ۱٫۵۳۸$ باشد.

پاسخ: $۲٫۲۳^\circ$

۸. یک باریکهٔ نور تکفام به منشوری با زاویهٔ رأس $A = ۶۰^\circ$ می‌تابد. اگر مینیمم زاویهٔ انحراف $\Delta_m = ۳۰^\circ$ باشد، معین کنید سرعت نور را در شیشه، درصورتی‌که سرعت نور در هوا $۳ \times ۱۰^۸ \frac{m}{s}$ باشد.

پاسخ: $v = ۲٫۱۲ \times ۱۰^۸ \frac{m}{s}$

۹. ضریب شکست منشوری $n = ۱/۵$ است. اگر زاویهٔ تابش نور $i = ۵۱^\circ$ باشد، منشور در وضع مینیمم انحراف قرار دارد. مطلوب است زاویهٔ رأس منشور و زاویهٔ مینیمم انحراف نور.

پاسخ: $A = ۶۲^\circ, ۲۴'$ و $\Delta_m = ۳۹^\circ, ۳۶'$

۱۰. ضریب شکست منشوری $n = ۱/۵$ است. هرگاه زاویهٔ رأس منشور کوچک باشد و یک باریکهٔ نور با زاویهٔ ۵° انحراف یابد، معین کنید زاویهٔ رأس منشور را. ضریب شکست برای این نور $n = ۱/۵$ است.

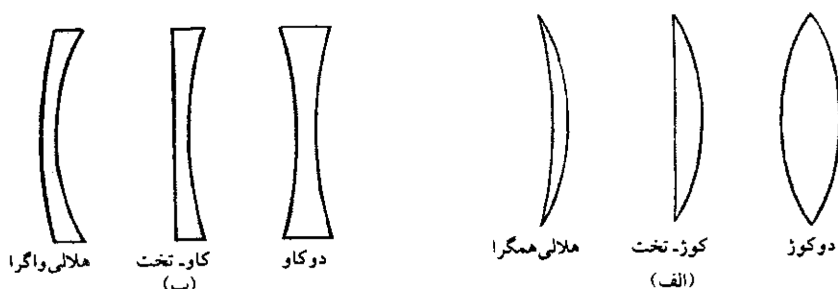
پاسخ: $A = ۱۰^\circ$

۵

عدسیها

۵ـ۱ مقدمه

عدسی[1]، قطعه‌ای نازک از یک مادهٔ شفاف مانند شیشه یا پلاستیک است که ضخامت آن از مرکز تا لبه تغییر می‌کند. هر کدام از دو سطح عدسی ممکن است تخت، کوژ[2](محدب) یا کاو[3](مقعر) باشد. عدسیها بر اثر شکست نور و ساختمان مخصوص می‌توانند پرتوهای نور را به‌هم نزدیک یا از هم دور کنند. از این‌رو عدسیها را به دو دسته تقسیم می‌کنند. عدسیهایی که پرتوهای نور را به‌هم نزدیک می‌کنند عدسیهای همگرا[4]، شکل ۵-۱ الف، و عدسیهایی که پرتوهای نور را از یکدیگر دور می‌کنند عدسیهای واگرا[5] نامیده می‌شوند، شکل ۵-۱ ب.



شکل ۵-۱

در عدسیهای نازک محور اصلی در نقطه‌ای عدسی را قطع می‌کند که آن نقطه را مرکز روشنایی عدسی یا مرکز نوری عدسی[6] می‌نامند.

1- lens 2- convex 3- concave 4- converging lenses 5- diverging lenses

6- optical center

هرگاه یک دسته پرتو نور، موازی با محور اصلی به عدسی همگرا یا واگرایی بتابد، پس از عبور از عدسی خود پرتوها یا امتداد آنها از نقطه‌ای می‌گذرند. این نقطه را کانون عدسی[1] می‌نامند. هر عدسی همگرا یا واگرا دارای دو کانون است که در دو طرف عدسی قرار دارند. فاصلهٔ کانون تا عدسی را فاصلهٔ کانونی عدسی[2] می‌نامند.

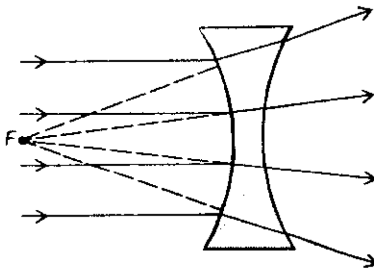
عدسیها در ساختمان بسیاری از وسایل و ابزارهای نوری کاربرد دارند. عدسیها را برای ساختن ذره‌بین، میکروسکوپ، دوربینهای نجومی و زمینی، دوربینهای عکاسی و پروژکتورها به‌کار می‌برند.

در این فصل ما از عدسیهایی بحث می‌کنیم که کلفتی آنها نسبت به قطر سطح مقطعشان کم باشد و اجسامی که تصویری از آنها تشکیل می‌شود به محور اصلی عدسی نزدیک باشند. گفته می‌شود که پرتوهای مربوط به این اجسام پیرامحوری[3]اند. در غیراین صورت تصاویر و محاسبه‌های مربوط به آنها وضع پیچیده‌تری پیدا می‌کنند.

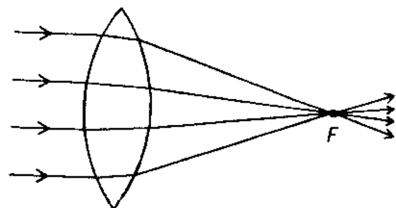
۵-۲ پرتوهای مشخص در عدسیها

برای رسم تصویر در عدسیها، از پرتوهای مشخص زیر که از هر نقطهٔ جسم به عدسی می‌تابد استفاده می‌شود.

۱. هر پرتو نور که از جسم گسیل یا بازتابیده شود و موازی با محور اصلی به عدسی کوژ (همگرا) بتابد، پس از عبور از عدسی از کانون اصلی آن می‌گذرد، شکل ۵-۲. در این حالت کانون و تصویر ایجاد شده در عدسی حقیقی[4] است. اگر نور موازی با محور اصلی به عدسی کاو (واگرا) بتابد پس از عبور از عدسی امتدادش از کانون عدسی می‌گذرد، شکل ۵-۳. در این حالت کانون و تصویر ایجاد شده در عدسی مجازی[5] است.



شکل ۵-۳

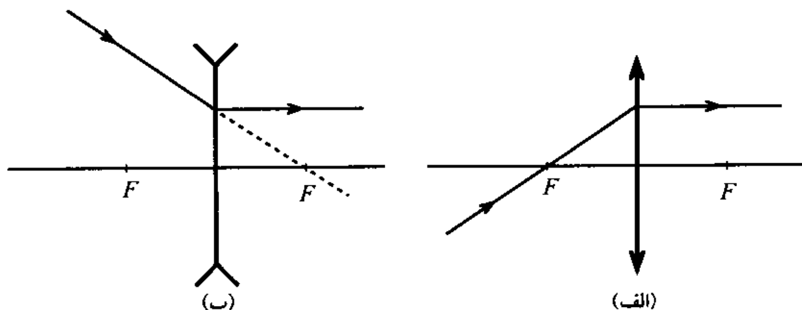


شکل ۵-۲

۲. هر پرتو نور که از نقطه‌ای از جسم گسیل شود و ازکانون عدسی کوژ بگذرد، پس از عبور از عدسی موازی با محور اصلی منتشر می‌شود، شکل ۵-۴ الف. در عدسیهای کاو، نوری که به عدسی

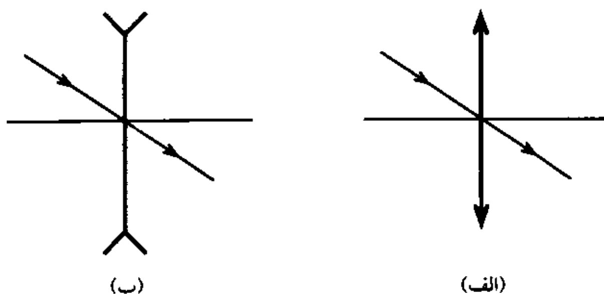
1- focal point 2- focal length 3- paraxial 4- real 5- virtual

طوری بتابد که امتدادش از کانون طرف دیگر عدسی بگذرد، پس از عبور از عدسی، موازی با محور اصلی منتشر می‌شود، شکل ۵-۴ ب.



شکل ۵-۴

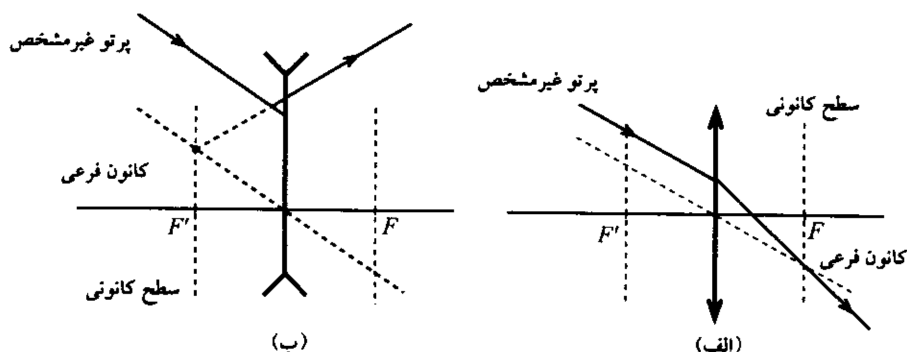
۳. در عدسی کوژ و کاو هر پرتو نور که از مرکز روشنایی عدسی بگذرد، بدون انحراف از طرف دیگر خارج می‌شود، شکل ۵-۵ الف و ب.



شکل ۵-۵

رسم پرتوهای غیرمشخص

با استفاده از پرتوهای غیرمشخص هم می‌توان تصویر جسم در عدسی را به‌دست آورد. برای این کار از کانون فرعی و سطح کانونی استفاده می‌شود. همهٔ پرتوهای موازی که به یک عدسی کوژ برخورد کنند پس از عبور از عدسی از یک نقطهٔ سطح کانونی می‌گذرند که به این نقطه کانون فرعی می‌گویند. در شکل ۵-۶ الف و ب پرتو خروجی مربوط به یک پرتو نور که به‌طور نامشخص به عدسی همگرا و واگرا تابیده نشان داده شده است. در هر دو مورد از یک پرتو کمکی که موازی با پرتو غیرمشخص از مرکز روشنایی می‌گذرد استفاده شده است.

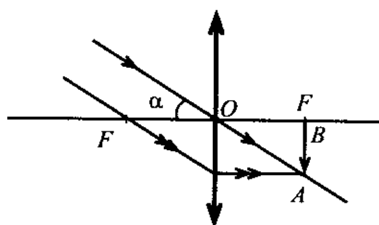


شکل۵-۶

۵ـ۳ تصویر اجسام در عدسیهای همگرا

عدسیهای همگرا می‌توانند از جسمی که در پشت آنها قرار گیرد تصویر تشکیل دهند. اگر جسم دورتر از کانون عدسی باشد، تصویر حقیقی و اگر در فاصلهٔ کانونی باشد، تصویر مجازی در عدسی تشکیل می‌شود. برای بررسی تصویر اجسام در عدسیها حالتهای مختلف زیر را درنظر می‌گیریم. برای سهولت در بیان مطالب فاصلهٔ جسم تا عدسی را با نماد p، فاصلهٔ تصویر تا عدسی را با نماد q و فاصلهٔ کانونی عدسی را با نماد f نشان می‌دهیم.

۱. جسم در بینهایت دور است. دراین‌صورت تصویر جسم در سطح کانونی و به صورت وارونه[1] خواهد بود، شکل ۵-۷.



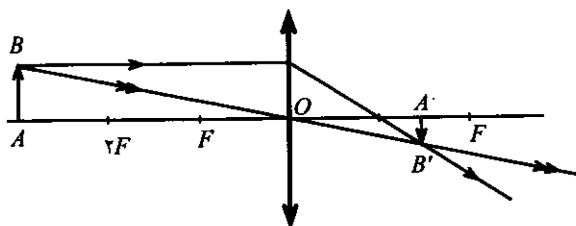
شکل۵-۷

مثلاً وقتی عدسی را مقابل نور خورشید بگیریم، تصویر به صورت یک قرص روشن تشکیل می‌شود که قطر آن از رابطهٔ $AB = OB \tan\alpha$ به‌دست می‌آید. در این رابطه α بزرگی زاویهٔ دید خورشید است. OB برابر f، فاصلهٔ کانونی عدسی است. معمولاً چون زاویهٔ دید کوچک است می‌توان به جای $\tan\alpha$، زاویهٔ α را برحسب رادیان قرار داد. دراین‌صورت قطر تصویر (d) از رابطهٔ زیر به‌دست می‌آید

$$AB = OB\tan\alpha, \qquad d = f\cdot\alpha$$

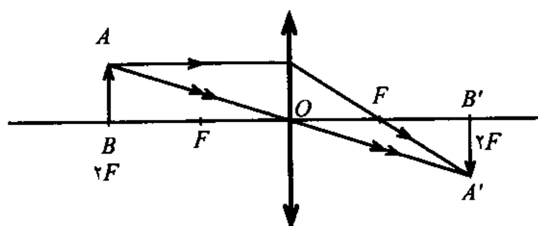
1- inverted

۲. جسم بین بینهایت دور و دو برابر فاصلهٔ کانونی است. در این حالت تصویر کوچکتر، وارونه و حقیقی است، شکل ۵-۸.



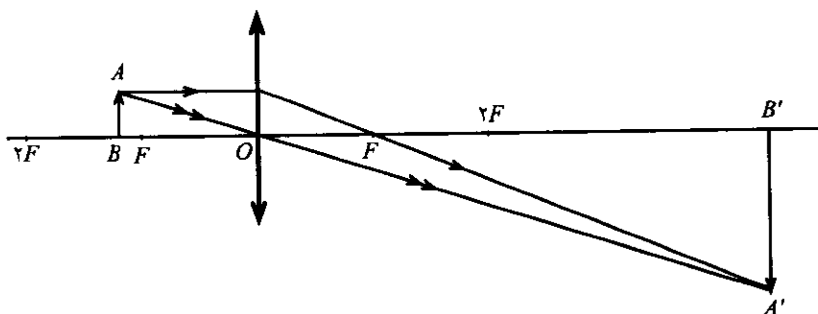
شکل۵-۸

۳. هرگاه جسم را به عدسی نزدیکتر کنیم، تصویر از عدسی دور می‌شود به‌طوری که اگر $p = ۲f$ باشد، $q = ۲f$ خواهد بود؛ شکل ۵-۹.



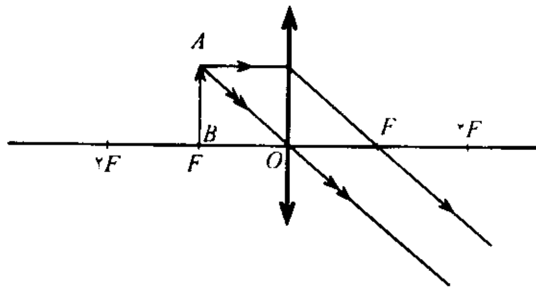
شکل۵-۹

۴. وقتی جسم بین F و $۲F$ قرار گیرد، یعنی $f < p < ۲f$ باشد، دراین صورت تصویر حقیقی، وارونه، بزرگتر و دورتر از $۲F$ و در طرف دیگر تشکیل می‌شود، شکل ۵-۱۰.



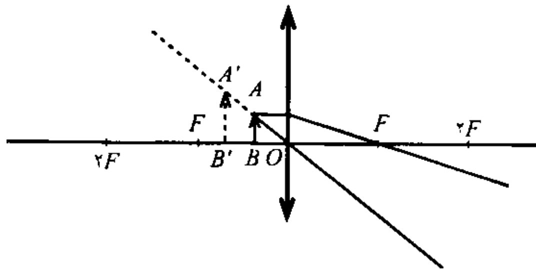
شکل۵-۱۰

۵. هرگاه جسم در سطح کانونی قرارگیرد، تصویر آن در بینهایت دور تشکیل می‌شود، شکل ۵-۱۱.



شکل۵-۱۱

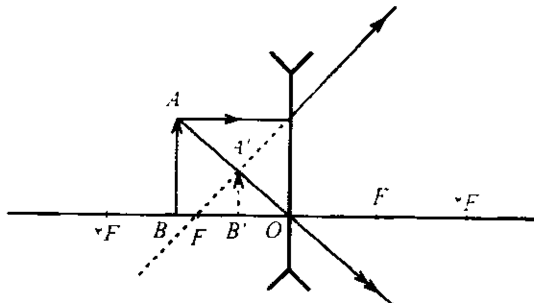
۶. هرگاه جسم بین کانون و عدسی قرارگیرد، تصویر آن مجازی و در همان طرفی دیده می‌شود که جسم قرار دارد، شکل ۵-۱۲.



شکل۵-۱۲

هرگاه جسمی با سرعت v از بینهایت دور به عدسی همگرا نزدیک شود، تصویر حقیقی آن در همان جهت v از عدسی دور می‌شود.

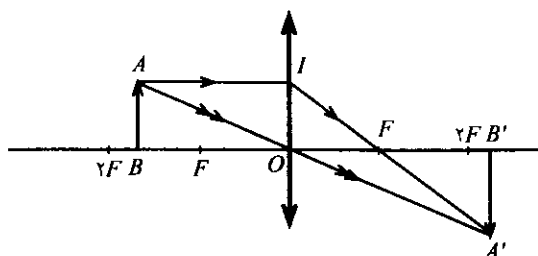
۷. وقتی جسمی در پشت عدسی واگرا (کاو) قرارگیرد، تصویر آن همواره کوچکتر، مجازی، مستقیم و در فاصلهٔ کانونی دیده می‌شود، شکل ۵-۱۳.



شکل۵-۱۳

۴ـ۵ رابطهٔ بین فاصلهٔ جسم و تصویر تا عدسی

با توجه به شکل ۵-۱۴ می‌توان رابطهٔ بین p، q، f، i و o را در عدسی همگرا محاسبه کرد.



شکل۵-۱۴

دو مثلث ABO و $A'B'O$ با هم متشابه‌اند و نسبت تشابه را می‌توان به صورت زیر نوشت، (i طول تصویر و o طول جسم است)

$$\frac{A'B'}{AB} = \frac{OB'}{OB} \Longrightarrow \frac{i}{o} = \frac{q}{p} = m$$

نسبت طول تصویر به طول شیء یعنی m را بزرگنمایی[1] عدسی می‌نامند.

دو مثلث $A'B'F$ و OIF با هم متشابه‌اند و نسبت تشابه را می‌توان به صورت زیر نوشت

$$\frac{A'B'}{OI = AB} = \frac{FB'}{FO} \Longrightarrow \frac{A'B'}{AB} = \frac{B'O - FO}{FO}$$

با توجه به رابطهٔ بزرگنمایی

$$\frac{A'B'}{AB} = \frac{q}{p}$$

نتیجه می‌گیریم که

$$\frac{q}{p} = \frac{q-f}{f} = \frac{q}{f} - ۱ \Longrightarrow \frac{q}{p} = \frac{q}{f} - ۱$$

دو طرف این رابطه را بر q تقسیم می‌کنیم، داریم

$$\frac{۱}{p} = \frac{۱}{f} - \frac{۱}{q} \Longrightarrow \frac{۱}{p} + \frac{۱}{q} = \frac{۱}{f}$$

اگر جسم در محل تصویر قرار گیرد، تصویر در محل جسم تشکیل می‌شود و رابطهٔ بالا در این حالت نیز درست است. دراین‌صورت دو نقطهٔ B و B' را نقاط مزدوج[2] می‌نامند.

1- magnification 2- conjugate points

مثال ۱. جسمی به چه فاصله از عدسی همگرایی به فاصلهٔ کانونی ۱۵ سانتیمتر قرار گیرد تا طول تصویرش ۳ برابر طول جسم باشد. دراین‌صورت فاصلهٔ جسم تا تصویر چقدر است؟

حل: با توجه به رابطهٔ بزرگنمایی داریم

$$\frac{i}{o} = \frac{q}{p} = ۳ \Longrightarrow q = ۳p$$

هرگاه تصویر حقیقی باشد

$$\frac{۱}{p} + \frac{۱}{q} = \frac{۱}{f} \Longrightarrow \frac{۱}{p} + \frac{۱}{۳p} = \frac{۱}{۱۵} \Longrightarrow \frac{۳+۱}{۳p} = \frac{۱}{۱۵}$$

$$\frac{۴}{۳p} = \frac{۱}{۱۵} \Longrightarrow ۳p = ۶۰ \Longrightarrow p = ۲۰ \text{ cm} \text{ و } q = ۶۰ \text{ cm}$$

فاصلهٔ جسم تا تصویر حقیقی آن برابر است با

$$BB' = p + q = ۲۰ + ۶۰ = ۸۰ \text{ cm}$$

هرگاه تصویر مجازی باشد برای تصویر علامت منفی به‌کار می‌بریم و می‌نویسیم

$$\frac{۱}{p} - \frac{۱}{q} = \frac{۱}{f} \Longrightarrow \frac{۱}{p} - \frac{۱}{۳p} = \frac{۱}{۱۵} \Longrightarrow \frac{۳-۱}{۳p} = \frac{۱}{۱۵}$$

$$\frac{۲}{۳p} = \frac{۱}{۱۵} \Longrightarrow ۳p = ۳۰ \Longrightarrow p = ۱۰ \text{ cm} \text{ و } q = ۳۰ \text{ cm}$$

فاصلهٔ جسم تا تصویر مجازی آن (که در طرف جسم قرار دارد) برابر است با

$$BB' = q - p = ۳۰ - ۱۰ = ۲۰ \text{ cm}$$

▲

مثال ۲. جسمی به فاصلهٔ $p = nf$ از یک عدسی همگرا قرار دارد. معین کنید فاصلهٔ تصویر تا عدسی و بزرگنمایی آن را در دو حالت تصویر حقیقی و تصویر مجازی، درصورتی‌که $f = ۳۰$ cm و $n = ۴$ باشد. اندازهٔ p، q و m چقدر است؟

حل: برای تصویر حقیقی با استفاده از رابطهٔ

$$\frac{۱}{p} + \frac{۱}{q} = \frac{۱}{f}$$

خواهیم داشت

$$\frac{۱}{q} = \frac{۱}{f} - \frac{۱}{p} = \frac{۱}{f} - \frac{۱}{nf} = \frac{n-۱}{nf}$$

$$q = \frac{nf}{n-۱} \Longrightarrow m = \frac{q}{p} = \frac{\frac{nf}{n-۱}}{nf} \Longrightarrow m = \frac{۱}{n-۱}$$

برای $f = ۳۰$ cm و $n = ۴$ داریم

$$p = ۴ \times ۳۰ = ۱۲۰ \text{ cm}$$

$$q = \frac{nf}{n-۱} = \frac{۴ \times ۳۰}{۴ - ۱} = ۴۰ \text{ cm}$$

$$m = \frac{۱}{n-۱} = \frac{۱}{۴-۱} = \frac{۱}{۳}$$

اگر تصویر مجازی باشد، داریم $p < f$. در این مثال $n = \frac{۱}{۲}$ را درنظر می‌گیریم

$$\frac{۱}{nf} - \frac{۱}{q} = \frac{۱}{f} \Longrightarrow \frac{۱}{nf} - \frac{۱}{f} = \frac{۱}{q}$$

$$\frac{۱-n}{nf} = \frac{۱}{q} \Longrightarrow q = \frac{nf}{۱-n}$$

$$m = \frac{q}{p} = \frac{\frac{nf}{۱-n}}{nf} \Longrightarrow m = \frac{۱}{۱-n}$$

برای $f = ۳۰$ cm و $n = \frac{۱}{۲}$ داریم

$$p = nf = \frac{۱}{۲} \times ۳۰ = ۱۵ \text{ cm}$$

$$q = \frac{nf}{۱-n} = \frac{\frac{۱}{۲} \times ۳۰}{۱ - \frac{۱}{۲}} = \frac{۱۵}{۰/۵} = ۳۰ \text{ cm}$$

$$m = \frac{۱}{۱-n} = \frac{۱}{۱-\frac{۱}{۲}} = \frac{۱}{۰/۵} = ۲$$

▲

مثال ۳. جسمی به فاصلهٔ d از یک پرده قرار دارد. هرگاه عدسی همگرایی در دو وضع، تصویر جسم را بر پرده تشکیل دهد، معین کنید Δ فاصلهٔ دو وضع عدسی چقدر است. چنانچه $d = ۱۰۰$ cm و $f = ۱۶$ cm باشد در آن صورت Δ چقدر است؟

حل: اگر تصویر بر پرده تشکیل شود، داریم

$$p + q = d$$

با استفاده از رابطهٔ کلی می‌نویسیم

$$\frac{۱}{p} + \frac{۱}{q} = \frac{۱}{f}$$

$$\frac{۱}{p} + \frac{۱}{d-p} = \frac{۱}{f} \Longrightarrow \frac{d-p+p}{p(d-p)} = \frac{۱}{f}$$

$$\frac{d}{p(d-p)} = \frac{۱}{f} \Longrightarrow p^۲ - dp + df = ۰$$

جوابهای این معادلهٔ درجه دوم عبارت‌اند از

$$p_1 = \frac{d + \sqrt{d^2 - 4df}}{2}$$

$$p_2 = \frac{d - \sqrt{d^2 - 4df}}{2}$$

تفاضل این دو جواب فاصلهٔ دو وضع عدسی همگراست که تصویر را بر پرده تشکیل می‌دهد

$$\Delta = p_2 - p_1 = \frac{d - \sqrt{d^2 - 4df}}{2} - \frac{d + \sqrt{d^2 - 4df}}{2}$$

$$\Delta = \sqrt{d^2 - 4df} \Longrightarrow \Delta = d\sqrt{1 - \frac{4f}{d}}$$

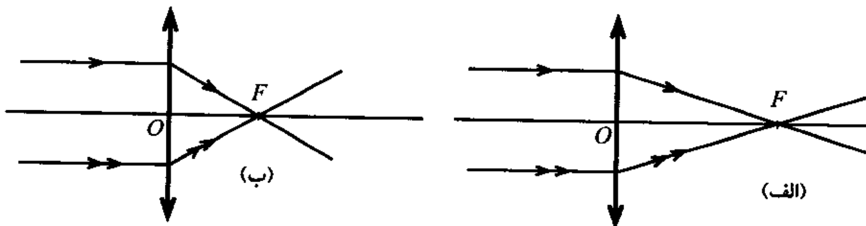
برای $d = 100\ \mathrm{cm}$ و $f = 16\ \mathrm{cm}$ مقدار Δ برابر است با

$$\Delta = 100\sqrt{1 - \frac{4 \times 16}{100}} = 60\ \mathrm{cm}$$

شرط آنکه عدسی دو تصویر از جسم بر پرده تشکیل دهد آن است که $d > 4f$ باشد. اگر داشته باشیم $d = 4f$ عدسی فقط یک تصویر تشکیل می‌دهد. برای $d < 4f$ تصویر جسم بر پرده تشکیل نمی‌شود. ▲

۵ـ۵ توان عدسیها

توانایی نزدیک کردن پرتوهای نور توسط عدسی را همگرایی یا توان[1] عدسی می‌نامند. عدسیهای همگرا می‌توانند پرتوهای نوری را که به آنها برخورد می‌کند به یکدیگر نزدیک کنند و هر اندازه فاصلهٔ کانونی عدسی کمتر باشد، پرتوها در فاصلهٔ نزدیکتری نسبت به عدسی به یکدیگر برخورد می‌کنند و توان عدسی بیشتر است، شکل ۵-۱۵ الف و ب. بنابراین توان عدسی با فاصلهٔ کانونی آن نسبت وارون دارد به‌طوری که می‌توان نوشت $D = \frac{1}{f}$. در این رابطه f فاصلهٔ کانونی با یکای متر و D توان عدسی با یکای دیوپتر است. به این ترتیب یک دیوپتر توان عدسی همگرایی است که فاصلهٔ کانونی آن یک متر باشد. با نماد d است.



شکل۵-۱۵

1- power

مثال ۴. فاصلهٔ کانونی یک عدسی همگرا ۵ سانتیمتر و فاصلهٔ کانونی یک عدسی واگرا ۲۰ سانتیمتر است. توان هر یک چقدر است؟

حل: توان عدسی همگرا برابر است با

$$D_۱ = \frac{۱}{f_۱} = \frac{۱}{۰/۰۵} = ۲۰\,\mathrm{d}$$

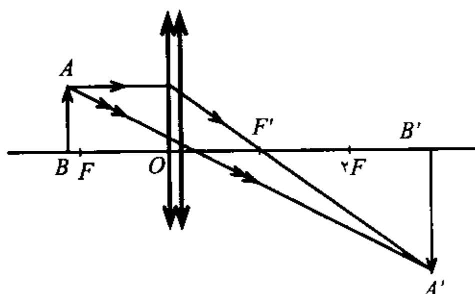
توان عدسی واگرا منفی و برابر است با

$$D_۲ = \frac{-۱}{f_۲} = \frac{-۱}{۰/۲} = -۵\,\mathrm{d}$$

▲

۶ـ۵ قضیهٔ همگرایی

هرگاه چند عدسی نازک را در کنار هم قرار دهیم مجموعهٔ آنها مانند یک عدسی عمل می‌کند، شکل ۵-۱۶.



شکل ۵-۱۶

در این حالت توان این مجموعه برابر مجموع توان عدسیهاست؛ یعنی

$$D = D_۱ + D_۲ + D_۳ + \cdots$$

اگر n عدسی مشابه را که توان هر یک $D_۱$ باشد درکنار یکدیگر قرار دهیم، توان مجموع برابر است با $D = nD_۱$. یا

$$\frac{۱}{f} = n \times \frac{۱}{f_۱} \Longrightarrow f = \frac{f_۱}{n}$$

یعنی فاصلهٔ کانونی مجموع عدسیها n بار از فاصلهٔ کانونی هر یک کوچکتر است.

۵ـ۷ رابطهٔ توان با شعاع دو وجه عدسی

هرگاه شعاع دو وجه عدسی را با $R_۱$ و $R_۲$ و ضریب شکست آن را با n نشان دهیم، رابطهٔ زیر بین فاصلهٔ کانونی و توان عدسی برقرار است

$$D = \frac{۱}{f} = (n - ۱)\left(\frac{۱}{R_۱} + \frac{۱}{R_۲}\right)$$

رابطهٔ بالا را برای عدسیهای مختلف می‌توان نوشت. اگر سطح کوژ باشد، اندازهٔ شعاع را با علامت مثبت و اگر کاو باشد با علامت منفی درنظر می‌گیریم.

مثال ۵. معین کنید فاصلهٔ کانونی و توان عدسی دوکوژی را که در آن $R_۱ = ۱۰\ \text{cm}$، $R_۲ = ۴۰\ \text{cm}$ و $n = ۱/۵$ باشد.

حل:
$$\frac{۱}{f} = (n - ۱)\left(\frac{۱}{R_۱} + \frac{۱}{R_۲}\right) = (۱/۵ - ۱)\left(\frac{۱}{۱۰} + \frac{۱}{۴۰}\right)$$
$$\frac{۱}{f} = \frac{۱}{۲} \times \frac{۵}{۴۰} = \frac{۵}{۸۰} \Longrightarrow f = ۱۶\,\text{cm}$$

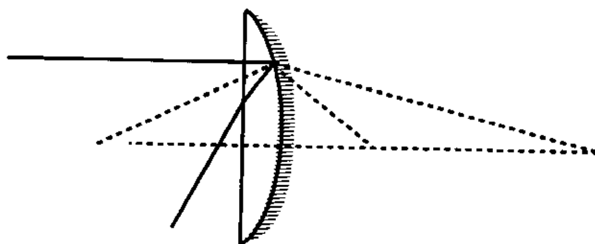
و از آنجا

$$D = \frac{۱}{f} = \frac{۱}{۰/۱۶\,\text{m}}$$
$$= ۶/۲۵\,\text{d}$$

▲

مثال ۶. عدسی تخت کوژی به ضریب شکست $n = ۱/۵$ موجود است. اگر شعاع طرف کوژ آن ۵۰ سانتیمتر باشد، فاصلهٔ کانونی این عدسی چقدر است؟

هرگاه طرف کوژ این عدسی را مطابق شکل ۵-۱۷ نقره‌اندود کنیم به‌طوری که این سطح مانند یک آینهٔ کاو عمل کند، فاصلهٔ کانونی مجموعهٔ آینه و عدسی چقدر خواهد شد؟



شکل۵-۱۷

حل: فاصلهٔ کانونی عدسی برابر است با

$$\frac{1}{f} = (n-1)\left(\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}\right) = (1/5-1)\left(\frac{1}{\infty}+\frac{1}{50}\right)$$
$$= \frac{1}{100} \Longrightarrow f = 100 \text{ cm}$$

این عدسی از جسم بینهایت دور تصویری در ۱۰۰ سانتیمتری خود تشکیل می‌دهد. این تصویر برای آینهٔ کاو به فاصلهٔ کانونی ۲۵ سانتیمتر یک جسم مجازی است که این آینه از آن جسم مجازی تصویر حقیقی در فاصلهٔ کانونی خود تشکیل می‌دهد. می‌توان نوشت

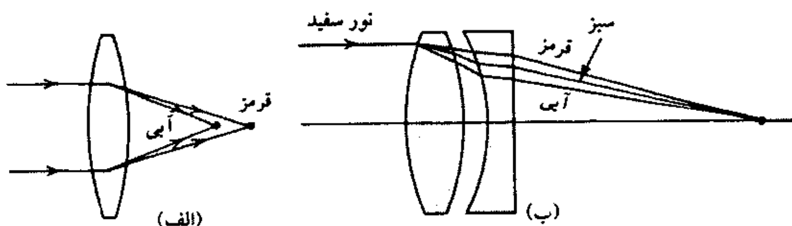
$$-\frac{1}{100}+\frac{1}{q}=\frac{1}{25} \Longrightarrow \frac{1}{q}=\frac{1}{25}+\frac{1}{100}$$
$$\frac{1}{q}=\frac{1}{20} \Longrightarrow q = 20 \text{ cm}$$

این مجموعه مانند یک آینهٔ کاو عمل می‌کند و تصویر اجسام دور را در ۲۰ سانتیمتری خود تشکیل می‌دهد. ▲

۵ـ۸ ابیراهی رنگی

تصویرهایی که برای عدسیها رسم کردیم برای حالتهای خاصی است که عدسی نازک باشد و جسم نزدیک محور اصلی قرار داشته باشد. در حالت کلی در تصویر نادرستیهایی به‌وجود می‌آید که به ابیراهی[1] موسوم‌اند. ابیراهی در انواع گوناگون روی می‌دهد که در اینجا به ابیراهی رنگی[2] می‌پردازیم.

ابیراهی رنگی مربوط به تفاوت ضریب شکست عدسی برای رنگهای مختلف نور سفید است. هرگاه عدسی نسبتاً ضخیمی را مقابل نور سفید قرار دهیم، نور پس از عبور از عدسی تجزیه می‌شود و به جای یک کانون از کانونهای متفاوتی می‌گذرد. کانون برای نور آبی به عدسی نزدیکتر و برای نور قرمز دورتر است، شکل ۵-۱۸ الف.



شکل ۵-۱۸

1- abberation 2- chromatic abberation

ابیراهی رنگی سبب می‌شود که تصویر یک جسم واضح نباشد. برای از بین بردن ابیراهی رنگی از عدسیهای مرکب استفاده می‌شود. در شکل ۵-۱۸ ب با ترکیب یک عدسی کوژ با یک عدسی کاو ابیراهی رنگی آن اصلاح شده است.

خلاصهٔ فصل

عدسی، قطعه‌ای نازک از ماده‌ای شفاف است که ضخامت آن از مرکز تا لبه تغییر می‌کند. عدسیها به دو دسته تقسیم می‌شوند؛ عدسیهای همگرا و عدسیهای واگرا. هر عدسی دارای دو کانون است. کانونها نسبت به عدسی تقارن دارند. با عدسیهای همگرا می‌توان از هر جسم تصویری حقیقی یا مجازی به‌دست آورد. اگر فاصلهٔ جسم تا عدسی همگرا کمتر از فاصلهٔ کانونی عدسی باشد، تصویر آن جسم مجازی و بزرگتر خواهد بود. اگر فاصلهٔ جسم تا عدسی بیشتر از فاصلهٔ کانونی باشد، تصویر حقیقی و وارونه است.

عدسیهای واگرا از جسم حقیقی تصویری کوچکتر و مجازی به‌دست می‌دهند. عدسیها را در ابزارهای نوری مانند ذره‌بین، میکروسکوپ، دوربین نجومی و دوربین زمینی به‌کار می‌برند. ذره‌بین عدسی همگرایی است که فاصلهٔ کانونی آن چند سانتیمتر باشد.

شرط آنکه در عدسی تصویر هر جسم مشابه خود جسم باشد آن است که جسم به محور اصلی عدسی نزدیک باشد.

هدفهای آموزشی

اکنون که این فصل را به پایان رسانیده‌اید باید بتوانید

- اصطلاحات زیر را تعریف کنید.
  عدسی، محور عدسی، کانون، سطح کانونی، فاصلهٔ کانونی، مرکز روشنایی و نقاط مزدوج.
- پرتوهای مشخص برای رسم تصویر را بشناسید.
- تصویر جسمی را که در پشت عدسی قرار می‌گیرد به روش ترسیم به‌دست آورید و فرمول عدسیها را محاسبه کنید.
- توان (همگرایی)، دیوپتر و قضیهٔ همگرایی را تعریف کنید.
- رابطهٔ توان با فاصلهٔ کانونی عدسی را در حل تمرینها به‌کار ببرید.
- رابطهٔ فاصلهٔ کانونی را با مشخصه‌های عدسی تحلیل کنید.

خود را بیازمایید

پرسشها

۱. اصطلاحات کانون، سطح کانونی، نقاط مزدوج، مرکز روشنایی و محور اصلی را تعریف کنید.

۲. رابطهٔ $\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f}$ را برای عدسی همگرا ثابت کنید.

۳. اگر a فاصلهٔ شیء تا کانون شیئی و a' فاصلهٔ تصویر تا کانون تصویری در عدسی باشد، رابطهٔ $aa' = f^2$ را ثابت کنید.

۴. در چه صورت در عدسی همگرا تصویر بزرگتر از شیء خواهد بود؟ شرح دهید.

۵. جسمی با سرعت v به عدسی همگرا نزدیک می‌شود. تصویر آن با چه سرعت و در چه جهت تغییر مکان می‌یابد؟

۶. فرمول عدسیهای کوژ و کاو را به‌دست آورید.

۷. کاربرد عدسیها چیست؟ برای هر نوع عدسی یک مثال بنویسید.

۸. همگرایی (توان) عدسی را تعریف کنید.

۹. قضیهٔ همگرایی را بیان کنید.

۱۰. رابطهٔ توان عدسی را با شعاعهای دو وجه عدسی بنویسید.

پرسشهای چهارگزینه‌ای

۱. جسمی با سرعت ثابت v از بینهایت دور به کانون عدسی کوژی نزدیک می‌شود. تصویرش چگونه تغییر می‌کند؟

الف) با سرعت کمتر دور می‌شود.

ب) با سرعت بیشتر دور می‌شود.

پ) اول با سرعت کمتر و سپس با سرعت بیشتر دور می‌شود.

ت) با سرعت ثابت دور می‌شود.

۲. جسمی در فاصلهٔ کانونی عدسی کوژی قرار دارد، تصویر آن چگونه است؟

الف) مجازی و مستقیم است.
ب) مجازی و وارونه است.
پ) حقیقی و مستقیم است.
ت) حقیقی و وارونه است.

۳. جسمی در فاصلهٔ کانونی عدسی واگرایی قرار دارد. تصویر آن چگونه است؟

الف) مجازی و بزرگتر.
ب) در فاصلهٔ کانونی و کوچکتر.
پ) حقیقی و وارونه.
ت) حقیقی و بزرگتر.

۴. یک عدسی همگرا و یک عدسی واگرا را روی‌هم می‌گذاریم، همگرایی دستگاه نسبت به همگرایی عدسی کوژ چه تغییری می‌کند؟

الف) زیاد می‌شود ب) کم می‌شود

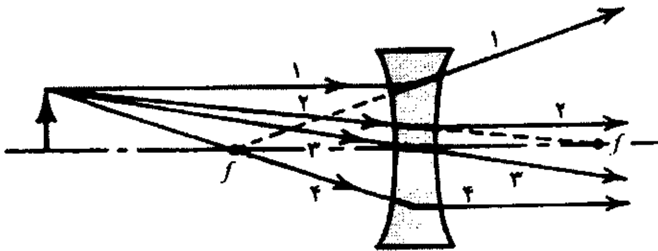
پ) تغییر نمی‌کند ت) ممکن است زیاد یا کم شود

۵. فاصلهٔ کانونی یک عدسی کوژ ۲۰ سانتیمتر است و جسم در فاصلهٔ ۵ سانتیمتر از کانون شیئی قرار دارد. فاصلهٔ تصویر تا عدسی چند سانتیمتر است؟

الف) ۸۰ ب) ۶۰ پ) ۱۰۰ ت) ۵۰

۶. در شکل ۵-۱۹ کدام پرتو درست رسم نشده است؟

الف) ۱ ب) ۲ پ) ۳ ت) ۴



شکل۵-۱۹

۷. جسمی به فاصلهٔ ۴۰ سانتیمتر از عدسی کاوی به فاصلهٔ کانونی ۱۰ سانتیمتر قرار دارد. مشخصه‌های تصویر چنین است،

الف) حقیقی، کوچکتر، وارونه. ب) مجازی، کوچکتر، مستقیم.

پ) حقیقی، بزرگتر، مستقیم. ت) مجازی، بزرگتر، مستقیم.

۸. دو عدسی کوژ به فاصله‌های کانونی ۳۰ و ۲۰ سانتیمتر در اختیار داریم. آنها را به چه فاصله از یکدیگر قرار دهیم تا پرتوهای موازی که به یکی از آنها می‌تابد به‌طور موازی از دیگری خارج شود؟

الف) ۲۰ cm ب) ۵۰ cm پ) ۲۵ cm ت) ۱۰ cm

۹. جسمی را در فاصلهٔ کانونی عدسی کوژی قرار داده‌ایم، تصویر آن

الف) حقیقی، وارونه و بزرگتر است. ب) حقیقی، وارونه و کوچکتر است.

پ) مجازی، مستقیم و بزرگتر است. ت) مجازی، مستقیم و کوچکتر است.

۱۰. توسط یک عدسی کوژ به فاصلهٔ کانونی ۵ سانتیمتر از درختی به ارتفاع ۲۰ متر تصویری در سطح کانونی عدسی به طول ۲ سانتیمتر به‌دست آمده است. فاصلهٔ درخت از عدسی چند متر است؟

الف) ۵۰ ب) ۱۰۰ پ) ۵۰۰ ت) ۱۰۰۰

۱۱. عدسی کوژی از یک جسم که به فاصلهٔ ۱۸ سانتیمتر از آن قرار دارد تصویری دو برابر جسم بر پرده‌ای تشکیل می‌دهد. عدسی را بین جسم و پرده چقدر جابه‌جا کنیم تا جای تصویر تغییر نکند؟

الف) ۳۶ cm ب) ۹ cm پ) ۱۸ cm ت) ۲۷ cm

۱۲. یک عدسی کوژ را بین جسم و پرده که فاصلهٔ آنها یک متر است قرار داده‌ایم. اگر عدسی را جابه‌جا کنیم فقط در یک وضعیت تصویر واضح روی پرده تشکیل می‌شود. فاصلهٔ کانونی این عدسی برابر است با

الف) ۱ m ب) ۰٫۵ m پ) ۰٫۲۵ m ت) ۰٫۱۲۵ m

۱۳. فاصلهٔ شیء حقیقی از عدسی واگرا n برابر فاصلهٔ کانونی است. فاصلهٔ تصویر از عدسی برابر است با

الف) $\frac{nf}{f+1}$ ب) $\frac{f}{n+1}$ پ) $\frac{nf}{n-1}$ ت) $\frac{f}{n-1}$

۱۴. دو عدسی نازک که همگرایی آنها ۱− و ۳+ دیوپتر است را به هم چسبانده و عدسی مرکبی می‌سازیم. نوع عدسی مرکب چیست و فاصلهٔ کانونی آن چند متر است؟

الف) واگرا، ۲ ب) واگرا، ۲٫۵ پ) همگرا، ۰٫۵ ت) همگرا، ۲

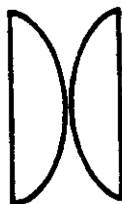
۱۵. شعاع انحنای هر طرف عدسی دوکاوی R و ضریب شکست آن $\frac{3}{2}$ است. جسمی را به فاصلهٔ R از این عدسی قرار می‌دهیم، نوع تصویر و محل آن را تعیین کنید.

الف) مجازی، R ب) مجازی، $\frac{R}{2}$ پ) حقیقی، R ت) مجازی، $\frac{R}{4}$

۱۶. دو عدسی همگرا مطابق شکل ۵-۲۰ با هم ترکیب شده‌اند. مجموعهٔ دو عدسی نظیر

الف) دو منشور است. ب) یک تیغهٔ متوازی‌السطوح است.

پ) یک عدسی واگراست. ت) یک عدسی همگراست.



شکل۵-۲۰

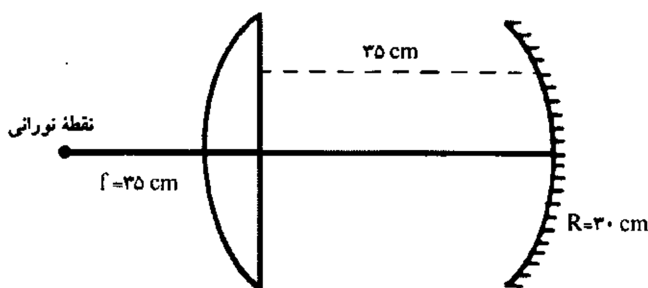
۱۷. دو عدسی یکی همگرا به فاصلهٔ کانونی f_1 و دیگری واگرا به فاصلهٔ کانونی f_2 را طوری مقابل هم قرار داده‌ایم که محور اصلی آنها بر هم منطبق است. یک دسته پرتو نور را موازی با محور اصلی به

عدسی همگرا می‌تابانیم. فاصلهٔ دو عدسی چه اندازه باید باشد تا این دسته پرتو، موازی با محور اصلی از عدسی واگرا خارج شود؟ $(f_1 > f_2)$

الف) $2f_1 - f_2$ ب) $f_1 - f_2$ پ) $f_1 + f_2$ ت) $2f_1 + f_2$

۱۸. مطابق شکل ۵-۲۱ یک نقطهٔ نورانی درکانون عدسی کوژی قرارگرفته است. فاصلهٔ آخرین تصویر نقطهٔ نورانی را از عدسی تعیین کنید.

الف) ۲۶٫۷ cm ب) ۱۶٫۰ cm پ) ۸۰٫۰ cm ت) بینهایت دور



شکل۵-۲۱

تمرینها

۱. فاصلهٔ کانونی عدسی همگرایی ۲۰ سانتیمتر است. اگر جسمی به ترتیب در فاصله‌های ۶۰، ۴۰، ۳۰، ۱۰ سانتیمتر از عدسی قرار گیرد، مطلوب است: (الف) فاصلهٔ تصویر تا عدسی؛ (ب) نوع تصویر؛ (پ) بزرگنمایی.

پاسخ: (الف) ۶۰ cm, ۲۰- cm (ب) ۶۰ cm, ۱۲ cm (پ) ۱، ۳

۲. جسمی در فاصلهٔ ۲۰ سانتیمتر از یک عدسی قرار دارد. هرگاه تصویر به فاصلهٔ ۳۰ سانتیمتر از عدسی باشد، معین کنید فاصلهٔ کانونی عدسی را در حالتهای زیر

(الف) تصویر حقیقی است؛ (ب) تصویر مجازی است.

پاسخ: (الف) ۲۰ cm، (ب) ۶۰ cm

۳. جسمی به فاصلهٔ ۲۰ سانتیمتر از عدسی واگرایی قرار دارد. اگر تصویر مجازی با بزرگنمایی $\frac{1}{2}$ تشکیل شود، فاصلهٔ کانونی عدسی را به‌دست آورید.

پاسخ: ۶٫۴۶ cm

۴. یک عدسی محدب را بین یک جسم و پرده‌ای که فاصلهٔ آنها از یکدیگر یک متر است قرار داده‌ایم. اگر عدسی را جابه‌جا کنیم فقط در یک وضعیت تصویر واضح بر پرده تشکیل می‌شود.

فاصلهٔ کانونی عدسی و بزرگنمایی آن را محاسبه کنید.

پاسخ: $f = ۲۵\,\mathrm{cm}$ و ۱

۵. شعاعهای انحنای دو طرف یک عدسی به ضریب شکست ۱/۵ برابر ۱۰ و ۲۵ سانتیمتر است. توان این عدسی چقدر است؟ ($n = \frac{۴}{۳}$ آب.)

پاسخ: ۷+ یا ۷− و ۳− یا ۳+

۶. دو عدسی تخت ـ محدب موجود است. شعاع انحنای یکی ۲۵ سانتیمتر، ضریب شکست آن ۱/۵۰، شعاع انحنای دیگری ۲۵ سانتیمتر و ضریب شکست آن ۱/۵۲ است. طرف تخت این دو عدسی را به هم می‌چسبانیم، فاصلهٔ کانونی و همگرایی این مجموعه چقدر است؟

پاسخ: $۲۴/۵\,\mathrm{cm}$ و $۴/۰۸\,\mathrm{d}$

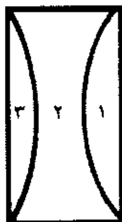
۷. همگرایی یک عدسی که یک طرف آن تخت است ۴− دیوپتر و ضریب شکست آن ۱/۵ است. شعاع انحنای آن را محاسبه و نوع عدسی را مشخص کنید.

پاسخ: $-۱۲/۵\,\mathrm{cm}$، واگرا

۸. یک عدسی دوکوژ از شیشه‌ای ساخته شده که ضریب شکست آن ۱/۵ و شعاعهای دو وجه آن ۲۰ و ۲۵ سانتیمتر است. فاصلهٔ کانونی و همگرایی این عدسی چقدر است؟

پاسخ: صفر

۹. از شیشهٔ متوازی‌السطوحی مطابق شکل ۵-۲۲، سه عدسی ساخته‌اند به‌طوری که فاصلهٔ کانونی عدسیهای اول و دوم اگر به هم چسبیده شوند $-f$ و اگر عدسیهای دوم و سوم را به هم بچسبانیم فاصلهٔ کانونی آنها $-f'$ می‌شود. اگر عدسیها نازک فرض شوند، معین کنید فاصلهٔ کانونی عدسی اول را.

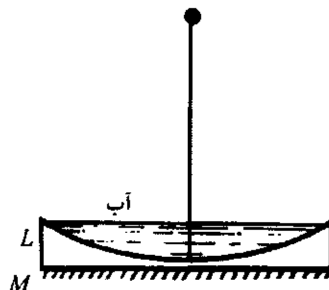


شکل۵-۲۲

پاسخ: $f_۱ = \frac{ff'}{f - ۲f'}$

۱۰. عدسی واگرای L مطابق شکل ۵-۲۳ روی آینهٔ مسطح M قرار گرفته است. سطح کاو را با مایعی به ضریب شکست $\frac{۵}{۳}$ پر می‌کنیم. اگر تصویر جسمی واقع در ۱۸۰ سانتیمتری این عدسی مرکب

بر خودش منطبق شود و ضریب شکست عدسی $\frac{۳}{۲}$ باشد، شعاع سطح کاو چقدر است؟ از ضخامت عدسی صرفنظر شود.



شکل۵-۲۳

پاسخ: $R_۱ = ۳۰$ cm



چشم

۶ـ۱ مقدمه

انسان از راه حواس خود از جهان، که خود جزئی از آن است، آگاه و با آن آشنا می‌شود. همین آگاهیها و دریافتهای حسی است که پایه و مایهٔ خرد و اندیشهٔ انسان را فراهم می‌آورد.

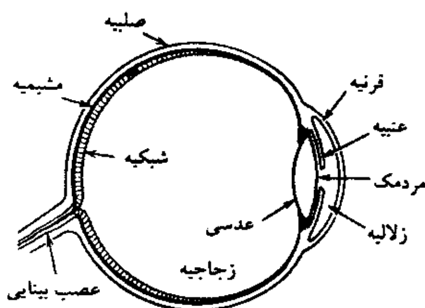
ما بیش از ۷۰٪ آگاهیهای خود از جهان را از راه چشم و بینایی کسب می‌کنیم. از راه چشم با رنگ، فاصله، مکان و اندازهٔ اجسام آشنا می‌شویم. چشم ما با وجود اهمیت بسیار، محدودیت دارد. نخست آنکه با چشم خود نمی‌توانیم چیزهای بسیار کوچک و نزدیک و چیزهای بزرگ و بسیار دور را ببینیم. دیگر آنکه چشم ما فقط نسبت به نور، یعنی جزءِ بسیار کوچکی از طیف بسیار گستردهٔ امواج الکترومغناطیسی حساس است. انسان می‌خواهد اجسام کوچک و نزدیک، بزرگ و دور را ببیند و ابزارهایی بسازد که نسبت به پرتوها در دامنهٔ گستردهٔ طیف الکترومغناطیسی حساس باشند و بتوانند اثر آنها را دریافت کنند. در این فصل به معرفی ساختمان چشم می‌پردازیم و سپس در فصل بعد به ذره‌بین و میکروسکوپ که وسایل دیدن اجسام کوچک‌اند می‌پردازیم و آنگاه دوربین و تلسکوپ را مورد بررسی قرار می‌دهیم و سپس دربارهٔ دوربین عکاسی که وسیله‌ای برای ثبت اثرهای نوری است بحث خواهیم کرد.

۶ـ۲ چشم

چشم عضو بینایی است که در یک حفرهٔ مخروطی شکل استخوانی قرار دارد. چشم تقریباً به شکل کره و به قطر حدود ۲٫۵ سانتیمتر و در پرده‌ای سفید و نسبتاً محکم به نام صلبیه[1] محدود و محفوظ است، شکل ۶-۱. بخش پیشین این پرده به نام قرنیه[2] شفاف است و نور می‌تواند از آن بگذرد و به چشم برسد. در زیر پردهٔ صلبیه، پردهٔ نازک مشیمیه[3] قرار دارد. این پرده در قسمت جلو مسطح و قائم

1- sclera   2- cornea   3- choroid

است و به آن عنبیه[1] گویند. در وسط عنبیه سوراخی به نام مردمک وجود دارد. مردمک نسبت به نور حساس است و قطر آن میان ۳ تا ۸ میلیمتر تغییر می‌کند. در زیر پردهٔ مشیمیه پردهٔ نازک شبکیه[2] قرار دارد. روی این پرده از سلولهای بینایی پوشیده شده است. در بخش پیشین پردهٔ شبکیه عدسی چشم واقع است. پشت پردهٔ قرنیه و جلوی عدسی چشم را مایع زلالیه[3] در دو طرف عنبیه، و درون چشم را مایع زجاجیه[4] پر کرده است.



شکل۶-۱

سلولهای بینایی که روی پردهٔ شبکیه قرار دارند شامل دو دستهٔ استوانه‌ای و مخروطی هستند. سلولهای استوانه‌ای نسبت به نور بسیار حساس‌اند و سلولهای مخروطی رنگ اجسام را تشخیص می‌دهند. در روی پردهٔ شبکیه و در امتداد محور چشم لکهٔ زرد[5] به قطر تقریبی ۰٫۲۵ میلیمتر قرار دارد که نسبت به نور از نقاط دیگر شبکیه حساستر است و به هنگام دیدن اشیا نور بر آن متمرکز می‌شود. در پایین لکهٔ زرد، نقطهٔ کور یا نقطه سیاه[6] قرار دارد که در آن سلولهای بینایی موجود نیست و اعصاب بینایی در آن‌جا به چشم می‌رسند.

چشم از مایعات و پرده‌های شفافی تشکیل شده که مانند یک عدسی محدب عمل می‌کند و در وضع استراحت تصویر اجسام دور را بر پردهٔ شبکیه و به صورت وارونه تشکیل می‌دهد. چشم سالم می‌تواند اجسام واقع در فاصله‌های مختلف، از حدود چندین سانتیمتر تا بینهایت دور را ببیند. برای آنکه تصویر اجسام در فاصله‌های مختلف بر پردهٔ شبکیه تشکیل و دیده شود، همگرایی چشم باید تغییر کند. توانایی تغییر همگرایی چشم که بر اثر تغییر ضخامت عدسی چشم به وجود می‌آید تطابق[7] نامیده می‌شود. دورترین فاصلهٔ جسم قابل دیدن تا چشم را حداکثر رؤیت [8] می‌نامند. حداکثر رؤیت برای

1- iris   2- retina   3- aqueous humor   4- vitreous humor   5- macula lutea   6- scotoma
7- accommodation   8- far point

چشم سالم بینهایت است ($D = \infty$). نزدیکترین فاصلهٔ جسم قابل رؤیت تا چشم را حداقل رؤیت[1] می‌نامند. حداقل رؤیت برای چشم سالم حدود ۱۰ سانتیمتر است. برای محاسبهٔ وسایل نوری معمولاً حداقل رؤیت را ۲۵ سانتیمتر می‌گیرند و آن را حداقل رؤیت تجارتی می‌نامند، ($d = ۲۵\text{cm}$). تفاوت فاصلهٔ حداکثر تا حداقل رؤیت، $D - d$، گسترهٔ دید چشم یا عمق دید نامیده می‌شود.

مثال ۱. حداقل رؤیت چشم سالم $d = ۱۰\ \text{cm}$ و حداکثر رؤیت آن $D = \infty$ است. همگرایی چشم این شخص در چه حدودی تغییر می‌کند؟

حل: شرط دیدن جسم آن است که تصویر بر پردهٔ شبکیه تشکیل شود و چون چشم مانند یک عدسی کوژ عمل می‌کند. رابطهٔ عدسی، یعنی $\frac{۱}{f} = \frac{۱}{q} + \frac{۱}{p}$، را در دو وضع به صورت زیر می‌نویسیم

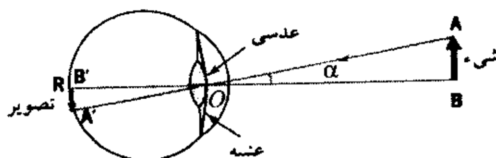
در حالت دیدن جسم واقع در بینهایت دور، $D_۱ = \frac{۱}{f_۱} = \frac{۱}{q} + \frac{۱}{D}$ و در حالت دیدن جسم نزدیک، $D_۲ = \frac{۱}{f_۲} = \frac{۱}{q} + \frac{۱}{d}$. هرگاه دو رابطهٔ بالا را از هم کم کنیم، داریم

$$\frac{۱}{d} - \frac{۱}{D} = D_۲ - D_۱ \Longrightarrow \Delta D = \frac{۱}{۰/۱۰} - \frac{۱}{\infty} = ۱۰ \quad \text{دیوپتر}$$

▲

توان تفکیک چشم - چشم انسان وقتی می‌تواند دو نقطهٔ A و B را از یکدیگر تمیز دهد که تصویر آن دو نقطه بر دو سلول مجزا از یکدیگر قرار گیرند. دراین صورت لازم است زاویهٔ میان آن دو نقطه بزرگتر یا حداقل برابر ۰/۰۰۰۳ رادیان باشد ($\alpha \geq ۰/۰۰۰۳\,\text{rad}$). ۰/۰۰۰۳ رادیان را توان تفکیک[2] چشم می‌نامند.

مثال ۲. توان تفکیک چشمی ۰/۰۰۰۳ رادیان است. فاصلهٔ دو نقطهٔ A و B از یکدیگر باید چه اندازه باشد تا چشم بتواند آنها را از فاصلهٔ ۱۰ متری تفکیک کند، شکل ۶-۲؟



شکل ۶-۲

1- near point 2- resolving power

حل:
$$\tan\alpha \approx \alpha = \frac{AB}{OA} \Longrightarrow ۰/۰۰۰۳ = \frac{AB}{۱۰}$$

$$AB = ۰/۰۰۳\,\text{m} = ۳\,\text{mm}$$

این چشم می‌تواند دو نقطه‌ای را که به فاصلهٔ ۳ mm از یکدیگر قرار دارند از هم تمیز دهد. ▲

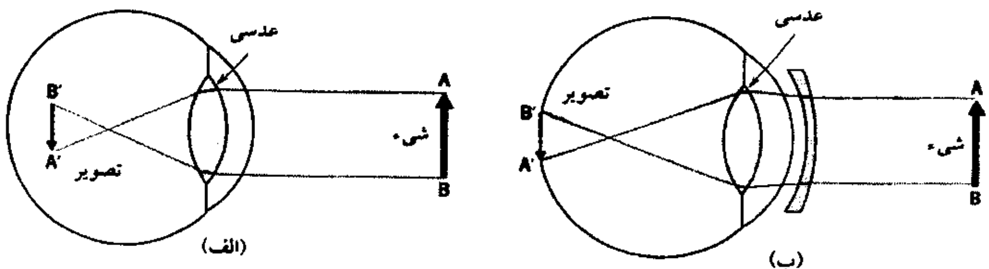
۳ـ۶ معایب چشم

عیبهای چشم که به شکست نور و همگرایی چشم مربوط می‌شود عبارت‌اند از نزدیک‌بینی[1]، دوربینی[2]، آستیگماتیسم[3] و پیرچشمی[4].

۱ـ نزدیک بینی. چشم نزدیک‌بین می‌تواند اجسام نزدیک را ببیند ولی اجسام از حد معینی دورتر به خوبی دیده نمی‌شوند. علت نزدیک بینی آن است که همگرایی عدسی چشم بیشتر از حد معمول است و درنتیجه در حالت عادی کانون عدسی چشم جلوتر از پردهٔ شبکیه قرار دارد و تصویر اجسام دور، جلوتر از شبکیه تشکیل می‌شود، شکل ۶-۳ الف. هرگاه جسم به چشم نزدیکتر شود تصویر از عدسی دورتر شده و سرانجام روی پرده شبکیه قرار می‌گیرد و دیده می‌شود. دراین صورت جسم در فاصلهٔ حداکثر رؤیت از چشم قرار دارد.

برای رفع نزدیک بینی از عدسی واگرایی استفاده می‌شود که تصویر اجسام دور را به‌طور مجازی در کانون خود که همان حداکثر رؤیت ناظر است قرار دهد تا چشم آن جسم را ببیند، شکل ۶-۳ ب. بنابراین فاصلهٔ کانونی این عینک برابر حداکثر رؤیت چشم است یعنی، $f = D'$ و همگرایی عینک چنین است

$$D = \frac{۱}{f} \quad \text{یا} \quad D = -\frac{۱}{D'}$$



شکل ۶-۳

1- nearsightedness=myopia 2- farsightedness=hyperopia 3- astigmatism 4- persbyorpia

مثال ۳. معین کنید فاصلهٔ کانونی عدسی و شمارهٔ عینک لازم و نوع بیماری چشمی را که حداکثر رؤیت آن $D' = ۴۰$ cm است.

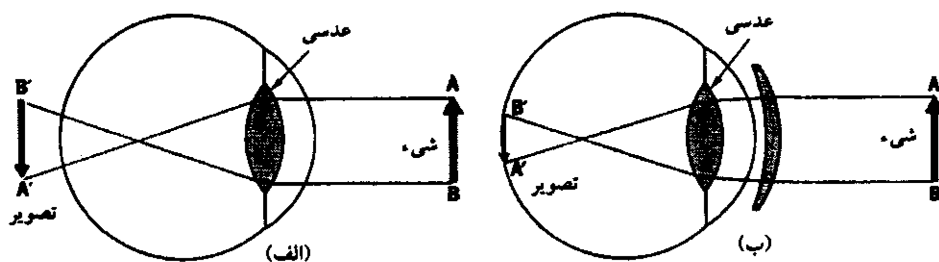
حل: نوع بیماری نزدیک‌بینی است، زیرا شخص دورتر از ۴۰ cm را نمی‌بیند. عینک لازم واگرا و شمارهٔ آن برابر است با

$$D = -\frac{۱}{f} = -\frac{۱}{D'} \text{ ، } f = D'$$

$$D = -\frac{۱}{۰/۴۰} = -۲/۵ \text{ d}$$

▲

۲ـ دوربینی. همگرایی در چشم دوربین از حد معمول کمتر است، درنتیجه تصویر اجسام در پشت پردهٔ شبکیه تشکیل می‌شود، شکل ۶-۴الف. چنین چشمی نمی‌تواند اجسام نزدیک را ببیند و اجسام دور را با تطابق می‌بیند. برای رفع دوربینی از عینکهای دارای عدسی کوژ استفاده می‌شود، شکل ۶-۴ ب. معمولاً چشم انسان به‌طور طبیعی پس از ۵۰ سالگی دوربین می‌شود.



شکل۶-۴

مثال ۴. شخصی نمی‌تواند اجسام نزدیکتر از ۲ متر را ببیند. این شخص باید از چه نوع عینکی و با چه شماره‌ای استفاده کند تا جسم واقع در ۲۵ سانتیمتری را ببیند؟

حل: این شخص دوربین است و لازم است عینکی به چشم بگذارد که از جسم واقع در ۲۵ سانتیمتری تصویر مجازی در ۲ متری تشکیل دهد تا آن را ببیند. بنابراین عدسی عینک باید کوژ باشد

$$\frac{۱}{p} + \frac{۱}{q} = \frac{۱}{f} \Longrightarrow \frac{۱}{۰/۲۵} - \frac{۱}{۲} = \frac{۱}{f}$$

$$\frac{۲ - ۰/۲۵}{۰/۵} = \frac{۱}{f} \text{ ، } f = \frac{۰/۵}{۱/۷۵}$$

پس شمارهٔ عینک عبارت است از

$$D = \frac{۱/۷۵}{۰/۵} = +۳/۵\ \mathrm{d}$$



۳ـ آستیگماتیسم. در چشم سالم قرنیه و عدسی کرویِ‌اند و تصویری که از جسم بر پردهٔ شبکیه تشکیل می‌شود شبیه جسم است. هرگاه قرنیه و عدسی کروی نباشند، تصویر از نظر روشنایی و اندازه متناسب با جسم نخواهد بود و واضح دیده نمی‌شود. این عیب را آستیگماتیسم گویند. برای از بین بردن این عیب چشم از عینکهای استوانه‌ای استفاده می‌شود. ضخامت شیشهٔ این عینکها در امتدادهای مختلف متفاوت است به‌طوری که مجموعهٔ شیشه و چشم مانند چشم سالم تصویر را بر پردهٔ شبکیه تشکیل می‌دهند.

۴ـ پیرچشمی. بر اثر بالا رفتن سن، قدرت تطابق چشم کاهش می‌یابد و چشم نمی‌تواند فاصلهٔ کانونی و در نتیجه همگرایی خود را تغییر دهد تا اجسام از فاصله‌های مختلف را به‌خوبی ببیند. این عیب چشم را پیرچشمی گویند. علت پیرچشمی ضعیف شدن ماهیچه‌هایی است که همگرایی عدسی چشم را تغییر می‌دهند.

اگر شخص پیرچشم دوربین باشد از عینک با عدسی همگرا و اگر نزدیک‌بین باشد از عینک با عدسی واگرا استفاده می‌کند. چنانچه نزدیک و دور را ببیند و دامنهٔ دید او فاصلهٔ مشخصی باشد، برای دیدن اجسام نزدیکتر از عدسی همگرا و برای دیدن اجسام دورتر از عدسی واگرا استفاده می‌شود. دراین‌صورت شخص به دو عینک نیاز دارد و می‌تواند از یک عینک با عدسی دوکانونی استفاده کند. عدسی دو کانونی، قطعه‌ای است که از دو عدسی همگرا برای دیدن دور و واگرا برای دیدن نزدیک تشکیل شده و این قطعه در عینک قرار می‌گیرد.

امروزه برای اصلاح چشم به جای عینک از عدسیهای تماسی[1] یا عدسک هم استفاده می‌شود. عدسیهای تماسی از مواد پلاستیکی انعطاف‌پذیر و بسیار ظریف ساخته می‌شود که مستقیماً روی قرنیهٔ چشم قرار می‌گیرند. این عدسیها را عامهٔ مردم لنز می‌نامند و به مراقبت زیاد نیاز دارند.

مثال ۵. شخص پیرچشمی اشیای واقع در فاصلهٔ ۸۰ سانتیمتری را به خوبی می‌بیند. این شخص برای دیدن جسمی که در بینهایت دور قرار داشته باشد و نیز دیدن نوشته‌هایی که در ۴۰ سانتیمتری چشم خود قرار می‌دهد از چه عینکهایی و با چه شماره‌ای باید استفاده کند؟

حل: شخص برای دیدن دور از عینک واگرایی استفاده می‌کند تا تصویر مجازی جسم دور را در ۸۰

1- contact lenses

سانتیمتری خود تشکیل دهد. فاصلهٔ کانونی و همگرایی این عدسی از رابطهٔ زیر حساب می‌شود

$$\frac{1}{p}+\frac{1}{q}=\frac{1}{f} \Longrightarrow \frac{1}{\infty}-\frac{1}{0/80}=\frac{1}{f}$$

$$f=-80\ \text{cm}\ ,\ D=\frac{1}{f}=-\frac{1}{0/8}$$

شمارهٔ عینک برای دیدن دور عبارت است از

$$D=-1/25\,\text{d}$$

شخص برای دیدن نزدیک باید از عینک همگرا استفاده کند. این عینک از جسم واقع در ۴۰ سانتیمتری تصویری مجازی در ۸۰ سانتیمتری چشم تشکیل می‌دهد. فاصلهٔ کانونی و همگرایی این عدسی از رابطه‌های زیر به‌دست می‌آید

$$\frac{1}{p}-\frac{1}{q}=\frac{1}{f} \Longrightarrow \frac{1}{40}-\frac{1}{80}=\frac{1}{f}$$

$$f=+80\ \text{cm} \Longrightarrow D=\frac{1}{f}=\frac{1}{0/80}=1/25\ \text{d}$$

▲

مثال ۶. کوچکترین طول جسمی که در ۲۵ سانتیمتری چشم قرار دارد و قابل تشخیص است چه اندازه است؟ توان تفکیک چشم ۰/۰۰۰۳ رادیان است.

حل: توان تفکیک چشم از رابطهٔ زیر به‌دست می‌آید

$$\tan\alpha \approx \alpha = \frac{AB}{OA} = \frac{\text{طول جسم}}{\text{فاصلهٔ جسم تا چشم}}$$

$$0/0003=\frac{AB}{25}\ ,\ AB=0/0075\,\text{cm}=75\ \text{میکرون}$$

▲

۶ـ۴ دوام بینایی

احساس دیدن تصویری که در چشم تشکیل می‌شود، حتی پس از دورکردن جسم از مقابل چشم، در جزئی از ثانیه بر شبکیه باقی می‌ماند و جسم دیده می‌شود. این پدیده را دوام بینایی[1] می‌نامند. هرگاه تصویر دیگری را که کمی با تصویر اول تفاوت داشته باشد جانشین تصویر قبلی کنیم دو تصویر با هم دیده می‌شوند و به‌نظر می‌رسد که جسم حرکت می‌کند. اگر هر تصویر به دنبال تصویر دیگر و سرعت کافی داشته باشد تصاویر متحرک دیده می‌شوند. خطای دید مربوط به متحرک دیدن تصویرها مربوط به دوام بینایی در چشم است.

1- persistence of vision

پروژکتورهای سینما در هر ثانیه ۱۸ تصویر را نشان می‌دهند. این تصویرها پیوسته دیده می‌شوند، برای آنکه تصویر در تلویزیون و سینما بدون کمترین تکان دیده شود تعداد تصویر در هر ثانیه را افزایش می‌دهند.

هرگاه از یک جسم متحرک تعداد ۵۴ یا ۳۶ تصویر در ثانیه گرفته شود و ۱۸ تصویر در ثانیه نشان داده شود، جسم با سرعت جابه‌جایی $\frac{۱}{۳}$ یا $\frac{۱}{۲}$ دیده خواهد شد. برعکس اگر در هر ثانیه ۹ تصویر از جسم متحرک گرفته شود و ۱۸ یا ۳۶ تصویر در ثانیه نشان داده شود، جسم با سرعت جابه‌جایی ۲ یا ۴ برابر دیده خواهد شد.

خلاصهٔ فصل

چشم عضوی است از بدن که نسبت به نور حساس است. چشم از محیطهای مایع و جامد شفافی تشکیل شده که مجموع آنها مانند یک عدسی عمل می‌کند و تصویر حقیقی و وارونه‌ای از اجسامی که در مسیر دید قرار می‌گیرند بر پردهٔ شبکیه تشکیل می‌دهد. چشم کره‌ای است به قطر حدود ۲/۵ سانتیمتر که در پرده نسبتاً محکم و سفید رنگی به نام صلبیه قرار دارد. بخشی از جلوی صلبیه شفاف است و قرنیه نامیده می‌شود. چشم سالم می‌تواند با عمل تطابق از حداقل رؤیت (d) تا حداکثر رؤیت ($D = \infty$) را ببیند. عیبهای چشم عبارت‌اند از نزدیک‌بینی، دوربینی، آستیگماتیسم و پیرچشمی. در نزدیک‌بینی، همگرایی چشم زیاد است و شخص نمی‌تواند اجسام واقع در دور را واضح ببیند. برای رفع آن از عینک با عدسی واگرا استفاده می‌شود که شمارهٔ آن از رابطهٔ $f = \frac{1}{D}$ به‌دست می‌آید. در چشم دوربین، همگرایی چشم کم است و شخص نمی‌تواند نزدیک را واضح ببیند.

چشم آستیگمات کروی نیست و برای رفع این عیب از عینک استوانه‌ای استفاده می‌شود. در پیرچشمی قدرت تطابق چشم کاهش می‌یابد. توان تفکیک چشم کوچکترین زاویه‌ای است که تحت آن دو نقطه جدا از هم تشخیص داده می‌شوند. مدت زمانی که پس از دور کردن جسمی از مقابل چشم هنوز تصویر آن دیده می‌شود دوام بینایی نامیده می‌شود.

هدفهای آموزشی

اکنون که این فصل را به پایان رسانیده‌اید باید بتوانید

- اصطلاحات زیر را تعریف کنید.

صلبیه، قرنیه، مردمک، شبکیه، زلالیه، زجاجیه، نقطهٔ کور، نقطهٔ زرد، عمق دید، تطابق.

- طرز کار چشم را شرح دهید.
- عمل تطابق را شرح دهید.

- معایب چشم را نام ببرید.
- عیب نزدیک‌بینی را شرح دهید.
- عیب دوربینی را شرح دهید.
- عیب آستیگماتیسم را شرح دهید.
- توان تفکیک چشم را تعریف کنید.
- پیرچشمی را شرح دهید.
- روش اصلاح هر یک از معایب چشم را شرح دهید.

خود را بیازمایید

پرسشها

۱. قسمتهای شفافی را که نور از آنها می‌گذرد تا به شبکیه برسد به ترتیب نام ببرید.

۲. کار صلبیه، مشیمیه و شبکیه در چشم چیست؟ شرح دهید.

۳. تطابق یعنی چه؟ شرح دهید.

۴. نزدیک‌بینی چیست؟ برای رفع آن چه باید کرد؟

۵. دوربینی چیست؟ برای رفع آن چه باید کرد؟

۶. توان تفکیک چشم چقدر است و چرا نمی‌توانیم دو نقطهٔ نزدیک به‌هم را از فاصلهٔ دور تشخیص دهیم؟

۷. آستیگماتیسم چیست؟ آن را شرح دهید. برای رفع آن چه باید کرد؟

۸. حداقل رؤیت و حداکثر رؤیت را توضیح دهید.

۹. آیا چشم دوربین بدون تطابق می‌تواند جسمی را ببیند؟ توضیح دهید.

پرسشهای چهارگزینه‌ای

۱. همگرایی عینک شخصی ۱٫۲۵− دیوپتر است. عیب چشم چیست و حداکثر دید او چقدر است؟

الف) دوربین، ۱۲۵ سانتیمتر — ب) نزدیک‌بین، ۱۲۵ سانتیمتر

پ) دوربین، ۸۰ سانتیمتر — ت) نزدیک‌بین، ۸۰ سانتیمتر

۲. نمرهٔ عینک شخصی $+\frac{1}{2}$ دیوپتر است. عیب چشم چیست و حداقل رؤیتش چقدر است؟

الف) دوربین، ۰٫۵ متر — ب) نزدیک‌بین، ۰٫۵ متر

پ) دوربین، ۲ متر — ت) نزدیک‌بین، ۲ متر

۳. چشم شخصی دوربین است و اجسام نزدیکتر از ۷۵ cm را واضح نمی‌بیند. این شخص برای دیدن اجسام واقع در ۳۰ cm از چه عینکی باید استفاده کند؟

الف) همگرا با نمرهٔ ۰٫۵+ ب) واگرا با نمرهٔ ۰٫۵−

پ) همگرا با نمرهٔ ۲+ ت) واگرا با نمرهٔ ۲−

۴. شخصی دو عینک دارد. یکی برای مطالعه و دیگری برای دیدن اجسام دور. به ترتیب نوع عدسیهای این دو نوع عینک کدام است؟

الف) همگرا، همگرا ب) واگرا، واگرا پ) همگرا، واگرا ت) واگرا، همگرا

۵. شخصی اشیای نزدیکتر از یک متر به خود را واضح نمی‌بیند. این شخص برای خواندن کتاب معمولاً آن را در فاصلهٔ ۲۵ سانتیمتری چشم خود نگه می‌دارد. نوع عینک و حدود نمرهٔ آن کدام است؟

الف) کوژ از $۳ < D < ۴+$ دیوپتر ب) کاو از $-۳ > D > -۴$ دیوپتر

پ) کوژ از $+۴ < D < +۵$ دیوپتر ت) کاو از $-۴ > D > -۵$ دیوپتر

۶. معمولاً در کدام عیب همگرایی چشم زیاد می‌شود؟

الف) دوربینی ب) نزدیک‌بینی پ) پیرچشمی ت) آستیگماتیسم

۷. چشمهای شخصی از پشت عینک ریز دیده می‌شود. عیب چشم و نوع عینک چیست؟

الف) دوربین، واگرا ب) نزدیک‌بین، واگرا پ) دوربین، همگرا ت) نزدیک‌بین، همگرا

۸. در ذره‌بین تصویری که می‌بینیم چگونه است؟

الف) بزرگتر، حقیقی ب) بزرگتر، مجازی پ) کوچکتر، حقیقی ت) کوچکتر، مجازی

۹. شخصی که کتاب می‌خواند ناگهان متوجه جسمی می‌شود که از او دور می‌شود. چه تغییری در چشم او ایجاد می‌شود تا آنکه جسم دور شونده را ببیند؟

الف) همگرایی چشمش زیاد می‌شود.

ب) همگرایی چشمش کم می‌شود.

پ) فاصلهٔ کانونی چشمش کم می‌شود.

ت) قطر مردمک چشمش کم می‌شود.

۱۰. شخصی برای اصلاح چشم خود عینکی به همگرایی ۲٫۵− دیوپتر به‌کار می‌برد. عیب چشم و حداکثر رؤیت او چیست؟

الف) نزدیک‌بین، ۰٫۴ متر ب) دوربین، ۰٫۴ متر

پ) نزدیک‌بین، ۴ متر ت) دوربین، ۴ متر

۱۱. ناظری با چشم سالم داخل آب قرار دارد. چشمش در آب چه عیبی پیدا می‌کند و چه عینکی برای رفع عیب باید به‌کار برد؟

الف) نزدیک‌بینی، کاو ب) دوربینی، کاو پ) نزدیک‌بینی، کوژ ت) دوربینی، کوژ

۱۲. شخصی برای دیدن اجسام ریز عینک خود را برمی‌دارد. دراین صورت اجسام را نزدیکتر می‌آورد. عیب چشم کدام است؟

الف) دوربین ب) نزدیک‌بین پ) پیرچشم ت) آستیگمات

۱۳. حداکثر رؤیت شخص نزدیک‌بینی ۲۵ cm است. شمارهٔ عینک برای اصلاح چشم او چقدر است؟

الف) +۴ d ب) −۴ d پ) +۲ d ت) −۲ d

۱۴. برای اصلاح پیرچشمی باید از چه عینکی استفاده کنیم؟

الف) عینک کوژ.

ب) عینک کاو.

پ) ممکن است هم ازکاو و هم ازکوژ استفاده کنیم.

ت) عینک استوانه‌ای.

۱۵. چه عاملی در چشم رنگ اجسام را تشخیص می‌دهد؟

الف) سلولهای استوانه‌ای ب) پردهٔ مشیمیه

پ) پردهٔ صلبیه ت) سلولهای مخروطی

۱۶. بر اثر بالا رفتن سن به‌طور طبیعی چشم کدام بیماری را پیدا می‌کند؟

الف) نزدیک‌بینی ب) آستیگماتیسم پ) دوبینی ت) دوربینی

۱۷. توان تفکیک چشم چند رادیان است؟

الف) ۰/۰۳ ب) ۰/۰۰۳ پ) ۰/۰۰۰۳ ت) ۰/۰۰۰۰۳

۱۸. از پشت شیشه تصویر یک جسم چگونه دیده می‌شود؟

الف) عقبتر ب) جلوتر پ) بزرگتر ت) کوچکتر

۱۹. چرا اشخاص نزدیک‌بین در زیر آب اجسام را واضحتر می‌بینند؟

الف) تطابق چشم در آب بهتر صورت می‌گیرد.

ب) شکست نور در آب کمتر از شکست نور در هواست.

پ) مربوط به خطای دید است.

ت) شکست نور در آب بیشتر از شکست نور در هواست.

۲۰. کرهٔ چشم اکثر اشخاص نزدیک‌بین چگونه است؟

الف) کشیده‌تر از اندازهٔ عادی. ب) فشرده‌تر از اندازهٔ عادی.

پ) بزرگتر از اندازهٔ عادی. ت) کوچکتر از اندازهٔ عادی.

تمرینها

۱. شخصی عینکی با شمارهٔ $+3\,\mathrm{d}$ را برای دیدن اجسام دور به‌کار می‌برد. حداقل فاصلهٔ رؤیت او چقدر است؟

پاسخ: $d = \frac{1}{3}\,\mathrm{m}$

۲. حداقل رؤیت شخصی $50\,\mathrm{cm}$ است. چه عینکی و با چه شماره‌ای باید به‌کار برد تا جسم واقع در $20\,\mathrm{cm}$ را با حداکثر تطابق ببیند؟

پاسخ: $D = +3\,\mathrm{d}$

۳. یک چشم سالم از فاصلهٔ $12{,}5\,\mathrm{cm}$ تا بینهایت دور را می‌بیند. تغییر همگرایی او چند دیوپتر است؟

پاسخ: $\Delta D = 8\mathrm{d}$

۴. حداکثر رؤیت ناظری $40\,\mathrm{cm}$ و حداقل رؤیت او $10\,\mathrm{cm}$ است. چه نوع عینک و با چه شماره‌ای باید به کار برد تا بینهایت دور را ببیند؟ دراین‌صورت حداقل رؤیت او با عینک چقدر است؟

پاسخ: $d = 13{,}3\,\mathrm{cm}$، $D = -2{,}5\,\mathrm{d}$، کاو

۵. حداقل فاصلهٔ رؤیت شخص دوربینی $90\,\mathrm{cm}$ است. این شخص برای خواندن کتابی که در فاصلهٔ $25\,\mathrm{cm}$ از او قرار دارد از چه عینک و با چه همگرایی باید استفاده کند؟

پاسخ: کوژ و $D = +2{,}9\,\mathrm{d}$

۶. شخصی نمی‌تواند اشیای نزدیکتر از $60\,\mathrm{cm}$ را واضح ببیند. وی با چه عینکی می‌تواند به‌طور عادی بخواند؟

پاسخ: $f = 43\,\mathrm{cm}$، عدسی همگرا

۷. برای اینکه شخصی اشیای دور را به وضوح ببیند به عدسیهایی به فاصلهٔ کانونی $f = -200\,\mathrm{cm}$ نیاز دارد. دورترین فاصله‌ای که این شخص می‌تواند بدون عینک بخواند چقدر است؟

پاسخ: $200\,\mathrm{cm}$

۸. قطر یک سلول بینایی ۵ میکرون و فاصلهٔ عدسی چشم تا پردهٔ شبکیه $15\,\mathrm{mm}$ است. توان تفکیک چشم چند رادیان است؟

پاسخ: $\alpha = \frac{1}{3000}$ رادیان

۹. شخص نزدیک‌بینی از عینکی به فاصلهٔ کانونی $-40\,\mathrm{cm}$ استفاده می‌کند. با این عینک، حداکثر رؤیت شخص بینهایت دور و حداقل رؤیتش $20\,\mathrm{cm}$ است. حداقل و حداکثر رؤیت بدون عینک این شخص چقدر است؟

پاسخ: $13{,}3\,\mathrm{cm}$ و $40\,\mathrm{cm}$

۱۰. شخصی از عینک $+2{,}5\,\mathrm{d}$ استفاده می‌کند و اشیای بینهایت دور تا $20\,\mathrm{cm}$ را بخوبی می‌بیند. عیب چشم چیست و حداقل و حداکثر رؤیت بدون عینک او چقدر است؟

پاسخ: دوربین، $40\,\mathrm{cm}$ و بینهایت



ابزارهای نوری

۷ـ۱ مقدمه

چشم انسان برای دیدن اجسام محدودیت دارد. اجسام بسیار ریز و اجسام بسیار دور دیده نمی‌شوند. علاوه‌براین، چشم نسبت به طول موجهای خاصی حساسیت دارد و نمی‌تواند با پرتوهای فروسرخ و فرابنفش اجسام را ببیند. مجموعهٔ وسایلی که انسان اختراع کرده است تا اجسام دور و نزدیک را ببیند یا عکسبرداری کند ابزارهای نوری[1] نامیده می‌شود. بعضی از این وسایل مانند ذره‌بین ساده و سبک و بعضی دیگر بسیار پیچیده و سنگین هستند.

انسان به کمک ابزارهای نوری توانسته است از اجسام بسیار ریز تا بسیار بزرگ و از بسیار نزدیک تا بینهایت دور را مشاهده کند و محدودهٔ دید خود را در جهان گسترش دهد.

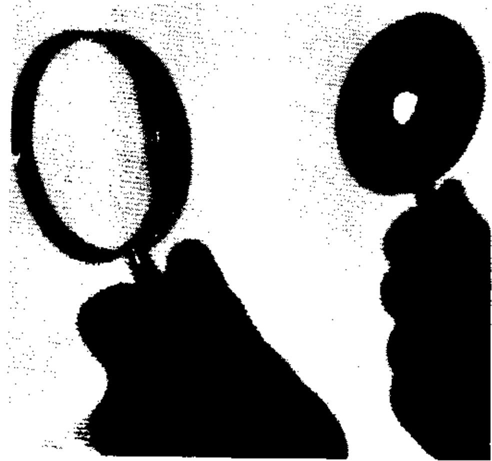
۷ـ۲ ذره‌بین

ذره‌بین[2] عدسی کوژی به فاصلهٔ کانونی چند سانتیمتر است که از جسم شفافی مانند شیشه یا پلاستیک ساخته می‌شود، شکل ۷-۱ الف. ذره‌بین از اجسام ریزی که در کانون یا فاصلهٔ کانونی آن قرار گیرد تصویری بزرگتر، مستقیم و مجازی در عمق دید شخص تشکیل می‌دهد، شکل ۷-۱ ب.

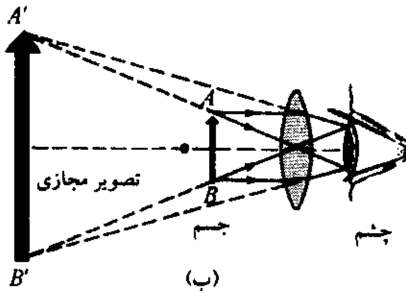
توان ذره‌بین- در هر ابزار نوری مانند ذره‌بین نسبت بزرگی زاویه‌ای یعنی قطر ظاهری یا زاویهٔ دید تصویر نهایی، α'، به طول شیء را توان آن ابزار می‌نامند. توان را با نماد P نشان می‌دهند و یکای آن دیوپتر است. توان از رابطهٔ زیر به‌دست می‌آید

$$P = \frac{\alpha'}{AB}$$

1- optical instruments   2- magnifying glass



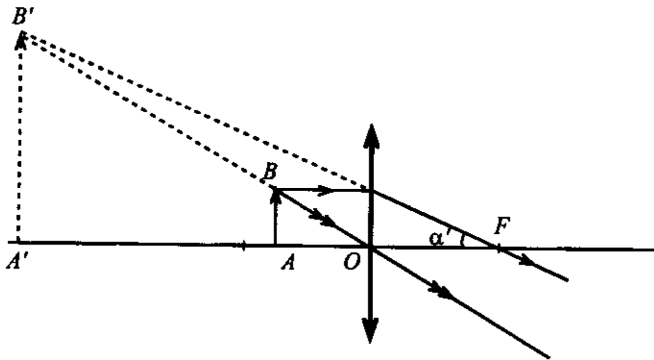
(الف)



(ب)

شکل ۷-۱

در شکل ۷-۲ جسم AB در پشت ذره‌بینی به فاصلهٔ کانونی f قرار دارد. در این صورت تصویر مجازی آن، $A'B'$، در ذره‌بین دیده می‌شود.



شکل ۷-۲

هر گاه جسم روی سطح کانونی باشد، تصویر این جسم در بینهایت دور تشکیل می‌شود. در این صورت چشم در هر جا پشت ذره‌بین قرار گیرد می‌تواند تصویر را با زاویه α' ببیند. با توجه به کوچک بودن زاویهٔ α' می‌توان نوشت $\alpha' = \frac{AB}{f}$ و رابطهٔ توان به شکل زیر خواهد بود

$$P = \frac{\alpha'}{AB} = \frac{AB/f}{AB} = \frac{1}{f}$$

مثال ۱. فاصلهٔ کانونی ذره‌بینی ۴cm است. توان ذره‌بین چند دیوپتر است؟ جسم در سطح کانونی ذره‌بین قرار دارد.

حل: توان در این حالت از رابطهٔ زیر به‌دست می‌آید

$$P = \frac{\alpha'}{AB} = \frac{۱}{f}$$

$$f = ۴\mathrm{cm} = ۰/۰۴\mathrm{m}$$

$$P = \frac{۱}{۰/۰۴} = ۲۵\ \mathrm{d}$$

▲

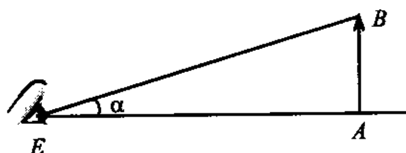
درشتنمایی- نسبت قطر ظاهری تصویر (α') به قطر ظاهری جسم (α) را، وقتی جسم در حداقل رؤیت باشد، درشتنمایی یا بزرگنمایی زاویه‌ای[1] ابزار نوری می‌نامند.

درشتنمایی را با نماد G نشان می‌دهند و از رابطهٔ زیر به‌دست می‌آید

$$G = \frac{\alpha'}{\alpha}$$

زاویهٔ α وقتی کوچک باشد با استفاده از شکل ۷-۳ برابر است با

$$\alpha = \frac{AB}{AE} = \frac{AB}{d}$$



شکل۷-۳

و چون $P = \frac{\alpha'}{AB}$ است، می‌توان درشتنمایی را محاسبه کرد

$$G = \frac{\alpha'}{\alpha} = \frac{P \cdot AB}{AB/d} = P \cdot d$$

در رابطهٔ بالا P توان ذره‌بین و d حداقل رؤیت است که برابر ۲۵ سانتیمتر محاسبه می‌شود.

1- angular magnification

مثال ۲. فاصلهٔ کانونی ذره‌بینی ۲ cm است. توان و درشتنمایی آن چقدر است؟

حل: توان ذره‌بین برابر است با

$$P = \frac{۱}{f} = \frac{۱}{۰/۰۲} = ۵۰\ \mathrm{d}$$

درشتنمایی ذره‌بین برابر است با

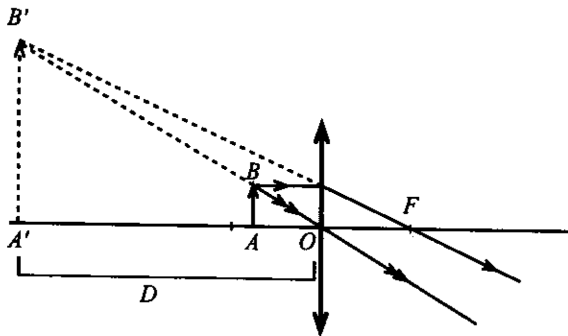
$$G = P \cdot d = ۵۰ \times ۰/۲۵ = ۱۲/۵$$

▲

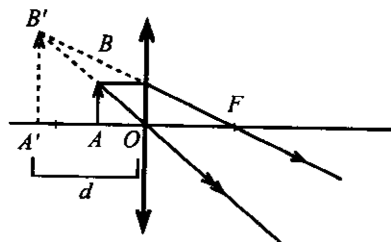
دامنهٔ تنظیم ذره‌بین

دامنهٔ تنظیم هر دستگاه نوری، اندازهٔ جابه‌جایی جسم نسبت به دستگاه است به‌طوری که تصویر از حداکثر رؤیت، D به حداقل رؤیت، d انتقال یابد.

دامنهٔ تنظیم ذره‌بین را می‌توان با استفاده از شکلهای ۷-۴ و ۷-۵ و محاسبه‌های صفحهٔ بعد به‌دست آورد.



شکل۷-۴



شکل۷-۵

اگر فاصلهٔ جسم تا ذره‌بین را برای حالتی که تصویر در حداکثر رؤیت است با a_1، شکل ۷-۴، و هنگامی که تصویر در حداقل رؤیت است، شکل ۷-۵، با a_2 نشان دهیم، با استفاده از فرمول نیوتون $(aa' = f^2)$ دامنهٔ تنظیم حساب می‌شود، داریم

$$a_1 D = f^2 \ ، \ a_1 = \frac{f^2}{D}$$

$$a_2 d = f^2 \ , \ a_2 = \frac{f^2}{d}$$

$$\Delta a = a_2 - a_1 = \frac{f^2}{d} - \frac{f^2}{D} = f^2\left(\frac{1}{d} - \frac{1}{D}\right)$$

مثال ۳. حداقل رؤیت ناظری ۲۰cm و حداکثر رؤیت او ۲m است. دامنهٔ تنظیم یک ذره‌بین به فاصلهٔ کانونی ۵cm چقدر است؟

حل:

$$\Delta a = f^2\left(\frac{1}{d} - \frac{1}{D}\right)$$

$$= 5^2\left(\frac{1}{20} - \frac{1}{200}\right) = 25(0{,}05 - 0{,}005)$$

$$= 25 \times 0{,}045 = 1{,}1\,\text{cm}$$

▲

تشخیص دو نقطهٔ نزدیک به هم به‌وسیلهٔ ذره‌بین- چشم انسان می‌تواند وقتی دو نقطه را از یکدیگر تشخیص دهد که قطر ظاهری آنها حداقل $\alpha = \frac{1}{3000}$ باشد. بنابراین اگر جسمی مثلاً در فاصلهٔ ۳۰ سانتیمتری چشم قرار گیرد وقتی قابل تشخیص است که طول آن بزرگتر از $\frac{1}{100}$ سانتیمتر باشد، زیرا می‌توان نوشت

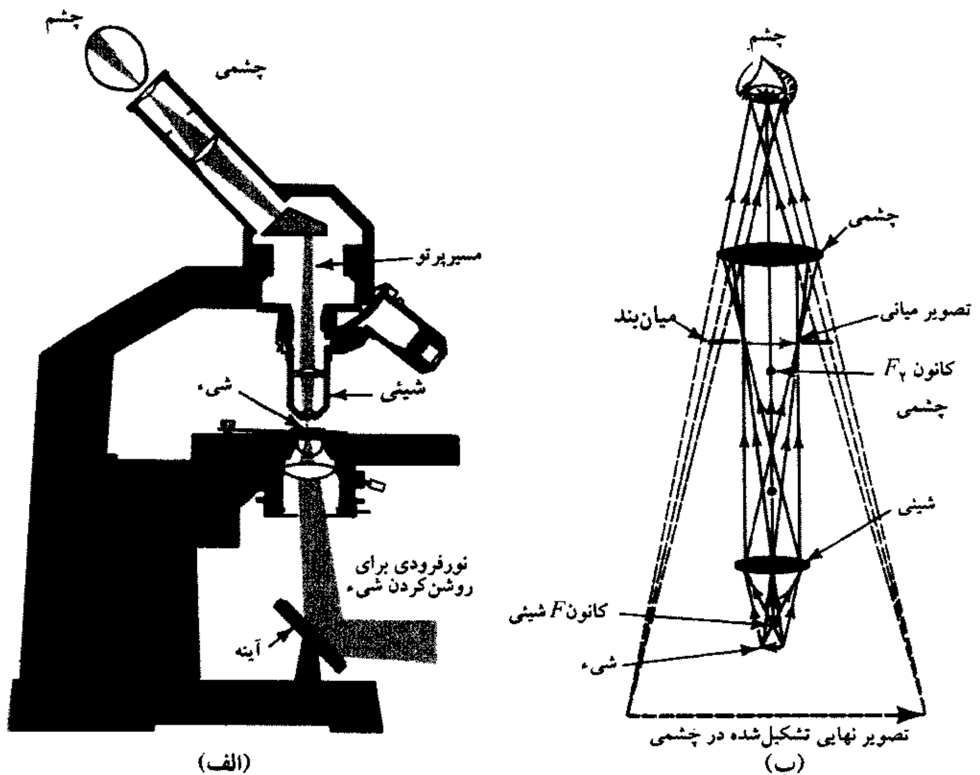
$$\alpha = \frac{AB}{d}, \ \ AB = d\alpha = 30 \times \frac{1}{3000} = \frac{1}{100}\,\text{cm}$$

اگر درشتنمایی ذره‌بینی برابر مثلاً ۱۰ باشد، فاصلهٔ دو نقطهٔ قابل تشخیص $\frac{1}{10}$ اندازهٔ فوق یعنی $\frac{1}{1000}$ سانتیمتر خواهد بود. درشتنمایی ذره‌بین معرف میزان بزرگ کردن قطر ظاهری تصویر جسم است و هر اندازه درشتنمایی ذره‌بین بزرگتر باشد به همان نسبت اجسام کوچکتر را می‌توان با ذره‌بین تشخیص داد.

۷ـ۳ میکروسکوپ

میکروسکوپ دستگاهی است که برای دیدن اجسام بسیار ریز به‌کار می‌رود. این دستگاه از لوله‌ای تشکیل شده که در دو انتهای آن دو عدسی کوژ یا دو دستگاه عدسی کوژ قرار دارند. عدسی‌ای که

چشم در پشت آن قرار می‌گیرد عدسی چشمی[1] و عدسی‌ای که شیء در برابر آن است عدسی شیئی[2] نامیده می‌شود. در شکل ۷-۶ الف قسمتهای مختلف یک میکروسکوپ و در شکل ۷-۶ ب چگونگی ایجاد تصویر در آن نشان داده شده است. علاوه‌بر قسمتهای یاد شده لازم است جسم کوچک در روی صفحه‌ای قرار گیرد که نور از پایین یا از بالا به آن بتابد. معمولاً نور یک چراغ یا نور خورشید به آینه‌ای می‌تابد و از آینه بازتابیده شده بر عدسیهای متمرکزکننده می‌رسد و آنگاه این نور از شیشهٔ شفاف می‌گذرد و به جسم کوچک می‌رسد و آن را روشن می‌کند.

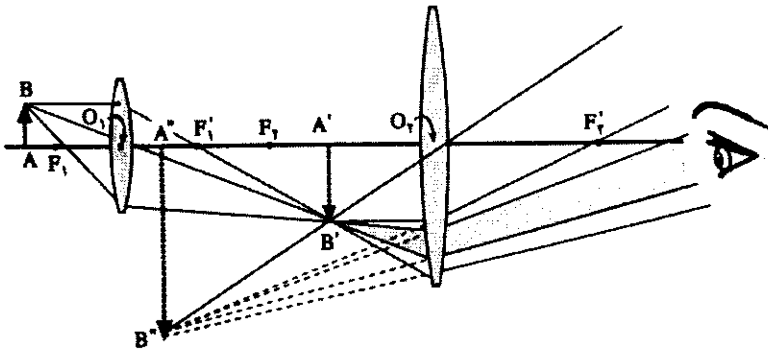


شکل ۷-۶

تصویر جسم کوچک به‌وسیلهٔ عدسی شیئی بزرگ شده و در فاصلهٔ کانونی عدسی چشمی قرار می‌گیرد. عدسی چشمی مانند یک ذره‌بین عمل می‌کند و از تصویر حقیقی حاصل از عدسی شیئی، تصویری مجازی و بزرگتر در عمق دید ناظر قرار می‌دهد.

1- eyepiece lens 2- objective lens

مثال ۴. در دو طرف لولهٔ یک میکروسکوپ به طول ۲۰ سانتیمتر عدسی شیئی به فاصلهٔ کانونی ۰٫۵۰ سانتیمتر و عدسی چشمی به فاصلهٔ کانونی ۳٫۰۰ سانتیمتر قرار دارند. فاصلهٔ جسم تا عدسی شیئی و نیز بزرگنمایی میکروسکوپ را به‌دست آورید. تصویر انتهایی در ۲۵ سانتیمتری ناظر قرار دارد و چشم ناظر به چشمی چسبیده است.



شکل۷-۷

حل: تصویر مطابق شکل ۷-۷ در ۲۵ سانتیمتری ناظر است. دراین‌صورت فاصلهٔ $A'B'$ تا عدسی چشمی از رابطهٔ زیر به‌دست می‌آید

$$\frac{۱}{p_۲} - \frac{۱}{q_۲} = \frac{۱}{f_۲} \Longrightarrow \frac{۱}{p_۲} - \frac{۱}{۲۵} = \frac{۱}{۳} \Longrightarrow p_۲ = ۲٫۶۸\,\mathrm{cm}$$

عدسی شیئی از جسم کوچک AB تصویر $A'B'$ را به‌دست می‌دهد که فاصلهٔ آن تا عدسی شیئی برابر است با

$$q_۱ = l - p_۲ = ۲۰ - ۲٫۶۸ = ۱۷٫۳۲\,\mathrm{cm}$$

بنابراین فاصلهٔ AB تا شیئی برابر است با

$$\frac{۱}{p_۱} + \frac{۱}{q_۲} = \frac{۱}{f_۱} \Longrightarrow \frac{۱}{p_۱} + \frac{۱}{۱۷٫۳۲} = \frac{۱}{۰٫۵}$$

$$p_۱ = ۰٫۵۱۵\,\mathrm{mm}$$

برای بزرگنمایی میکروسکوپ داریم

$$m = \frac{A''B''}{AB} = \frac{A''B''}{A'B'} \times \frac{A'B'}{AB} = m_e \times m_o$$

یعنی بزرگنمایی میکروسکوپ برابر است با بزرگنمایی چشمی ضربدر بزرگنمایی شیئی.

$$m_e = \frac{A''B''}{A'B'} = \frac{q_۲}{p_۲} = \frac{۲۵}{۲/۶۸} = ۹/۳۲$$ (بزرگنمایی چشمی)

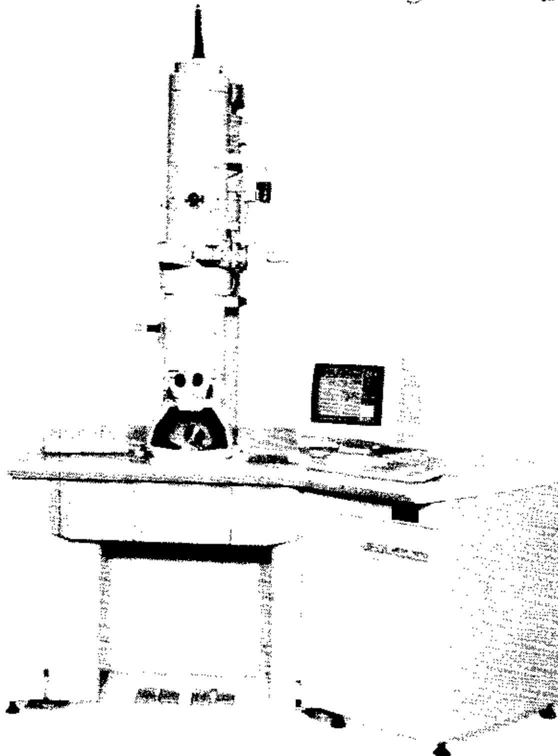
$$m_o = \frac{A'B'}{AB} = \frac{۱۷/۳۲}{۰/۵۱۵} = ۳۳/۶۳$$ (بزرگنمایی شیئی)

پس بزرگنمایی میکروسکوپ برابر است با

$$m = ۹/۳۲ \times ۳۳/۶۳ \simeq ۳۱۳$$

▲

بزرگنمایی میکروسکوپها حداکثر حدود ۲۰۰۰ است. برای به‌دست آوردن بزرگنمایی بیشتر از میکروسکوپ الکترونی استفاده می‌شود. در میکروسکوپ الکترونی به جای نور از طول موج وابسته به الکترونها استفاده می‌شودکه بسیارکوچکتر از طول موجهای نور مرئی است و درنتیجه توان جداکنندهٔ بسیار بالاتری دارد. در این میکروسکوپهاکه نمونه‌ای از آن در شکل ۷-۸ نشان داده شده است به جای عدسیهای معمولی از عدسیهای الکتروستاتیکی یا مغناطیسی استفاده می‌شود. در عدسیهای الکتروستاتیکی الکترونها بر اثر وجود میدان الکتروستاتیکی به همان شکل پرتوهای نور در عدسیهای معمولی منحرف می‌شوند و تصویری از جسم ایجاد می‌کنند. در عدسیهای مغناطیسی انحراف الکترونها بر اثر وجود میدان مغناطیسی صورت می‌گیرد.

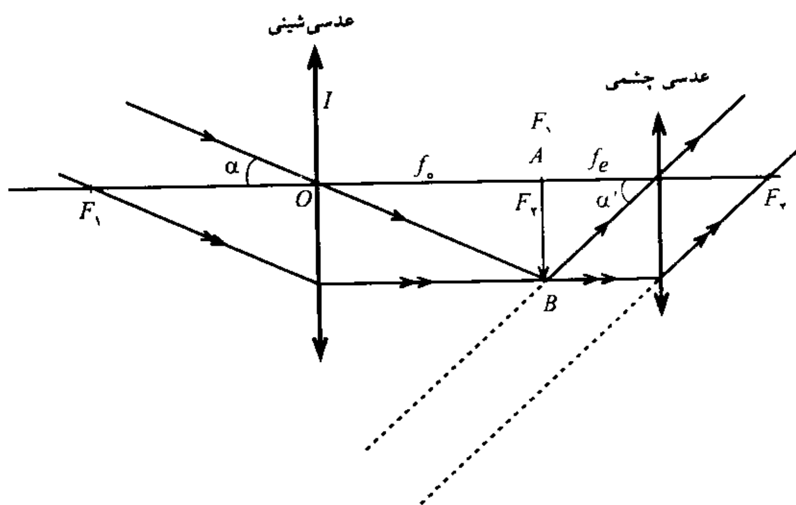


شکل ۷-۸

در میکروسکوپ الکترونی تصویر روی یک پردهٔ فلوئورسان نشان داده می‌شود و نمی‌توان چشم را مستقیم در مسیر پرتوهای الکترونی قرار داد. قدرت بزرگنمایی میکروسکوپ الکترونی هزاران بار بیشتر از میکروسکوپهای نوری است، به‌طوری که می‌توان با این میکروسکوپها ساختارهای بسیار کوچک بلورها، بافتها و مولکولها را مشاهده کرد.

۷-۴ دوربین نجومی

دوربین نجومی[1] اسبابی است که برای دیدن اجرام آسمانی مانند ماه، سیاره‌ها و ستارگان به‌کار می‌رود. دوربین نجومی از دو عدسی یا دو دستگاه عدسی کوژ چشمی و شیئی تشکیل شده است. فاصلهٔ کانونی عدسی شیئی زیاد و فاصلهٔ کانونی عدسی چشمی کم است. عدسی شیئی از جسم دور تصویری حقیقی و وارونه در سطح کانونی خود تشکیل می‌دهد. این تصویر در سطح یا فاصلهٔ کانونی عدسی چشمی تشکیل می‌شود. درنتیجه تصویر نهایی در بینهایت یا عمق دید ناظر قرار می‌گیرد، شکل ۷-۹.



شکل ۷-۹

طول لولهٔ دوربین برابر فاصلهٔ کانونی عدسی شیئی (f_o) به‌علاوهٔ فاصلهٔ کانونی عدسی چشمی (f_e) یعنی $L = f_o + f_e$ است. اگر دو عدسی را به هم نزدیک کنیم، تصویر انتهایی می‌تواند حقیقی باشد که دراین‌صورت از جسم دور می‌توان عکسبرداری کرد.

درشتنمایی این دوربینها که عبارت است از نسبت تانژانت قطر ظاهری تصویر، $\tan\alpha'$، به

1- astronomical telescope

تانژانت قطر ظاهری جسم، $\tan\alpha$، وقتی بدون دوربین دیده شود، برابر است با

$$G = \frac{\tan\alpha'}{\tan\alpha}$$

با توجه به شکل ۷-۹ داریم

$$\tan\alpha = \frac{AB}{f_o} \quad \text{و} \quad \tan\alpha' = \frac{AB}{f_e}$$

$$G = \frac{AB/f_e}{AB/f_o} = \frac{f_o}{f_e}$$

یعنی درشتنمایی دوربین برابر است با نسبت فاصلهٔ کانونی شیئی به فاصلهٔ کانونی چشمی.

در شکل ۷-۱۰ دوربین نجومی واقع در یک رصدخانه نشان داده شده است.



شکل۷-۱۰

مثال ۵. فاصلهٔ کانونی شیئی دوربینی یک متر و فاصلهٔ کانونی چشمی آن ۲ سانتیمتر است. طول لولهٔ دوربین و درشتنمایی آن را به‌دست آورید.

حل: طول لوله برابر است با

$$L = f_o + f_e = ۱۰۰ + ۲ = ۱۰۲\,\text{cm}$$

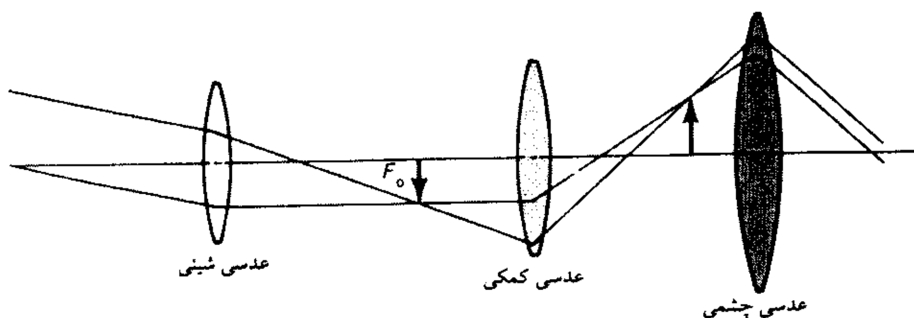
درشتنمایی عبارت است از

$$G = \frac{f_o}{f_e} = \frac{100}{2} = 50$$

▲

۷ـ۵ دوربین زمینی

در دوربین نجومی آخرین تصویر وارونه دیده می‌شود. این موضوع برای اجرامی که در بیرون از زمین هستند اشکال خاصی به‌وجود نمی‌آورد، ولی برای دیدن اجسام دور زمینی از این نوع دوربین نمی‌توان استفاده کرد. برای آنکه تصویر اجسام دور زمینی دیده شوند از دوربین نجومی با عدسی کمکی، شکل ۷-۱۱، یا دوربین گالیله، یا دوربین دو چشمی که به دوربین زمینی[1] معروف است استفاده می‌شود.



شکل۷-۱۱

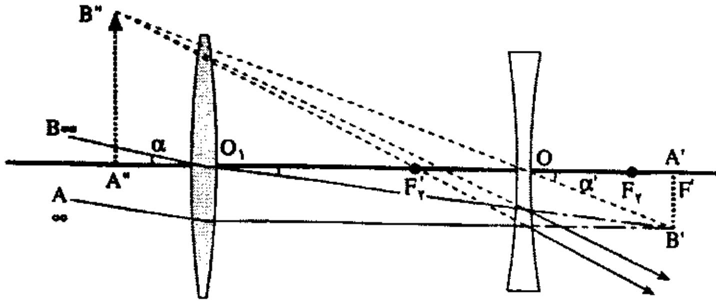
به‌طوری که در شکل ۷-۱۱ دیده می‌شود عدسی شیئی، از جسم دور زمینی تصویری حقیقی، خارج از فاصلهٔ کانونی عدسی کوژ کمکی تشکیل می‌دهد. این عدسی از این تصویر، تصویری مستقیم در فاصلهٔ کانونی عدسی چشمی به دست می‌دهد و درنتیجه عدسی چشمی، تصویری مجازی و مستقیم در عمق دید ناظر به‌وجود می‌آورد.

۷ـ۶ دوربین گالیله

دوربین گالیله از یک عدسی کوژ یا همگرا، شیئی، و یک عدسی کاو یا واگرا، چشمی، تشکیل شده است. عدسی شیئی تصویری حقیقی و وارونه از جسم دور در سطح کانونی خود تشکیل می‌دهد. این تصویر برای عدسی واگرای چشمی یک شیء مجازی است که از آن تصویری مستقیم و مجازی در عمق دید ناظر تشکیل می‌شود، شکل ۷-۱۲.

طول لولهٔ دوربین گالیله $L = f_o - f_e$ و درشتنمایی آن $G' = \frac{f_o}{f_e}$ است.

1- terrestrial telescope = Galilean telescope



شکل۷-۱۲

مثال ۶. در یک دوربین گالیله فاصلهٔ کانونی شیئی $f_o = ۱۰۰$ cm و فاصلهٔ کانونی چشمی $f_e = ۴$cm است. طول لوله و درشتنمایی دوربین را به‌دست آورید.

حل: طول لوله برابر است با

$$L = f_o - f_e = ۱۰۰ - ۴ = ۹۶\,\text{cm}$$

درشتنمایی دوربین برابر است با

$$G = \frac{f_o}{f_e} = \frac{۱۰۰}{۴} = ۲۵$$

▲

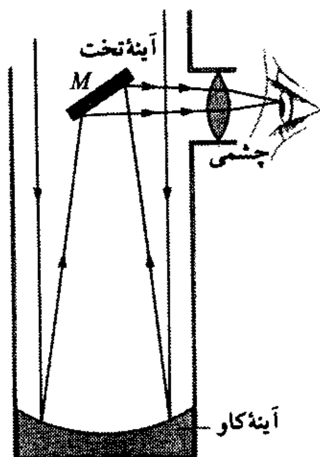
۷ـ۷ دوربین دو چشمی (منشوری)

برای آنکه تصویر نهایی مستقیم باشد، دو منشور در مسیر پرتوهای نور بین دو عدسی شیئی و چشمی قرار می‌دهند. این دو منشور که در وضع بازتاب کلی هستند می‌توانند پرتوها را به یکدیگر نزدیک و آنها را جابه‌جا کنند تا تصویر مستقیم در پشت چشمی تشکیل شود.

۸ـ۷ دوربین نیوتون

تهیهٔ عدسیهای با قطر دهانهٔ زیاد عملاً مشکل است، از این‌رو در تلسکوپهای نجومی به جای عدسی شیئی از یک آینهٔ کاو استفاده می‌شود، شکل ۷-۱۳. قطر بزرگترین عدسی شیئی در دوربین نجومی حدود یک متر است درصورتی‌که قطر دهانهٔ آینهٔ بزرگترین تلسکوپ جهان که درکوه پالومار در امریکا قرار دارد حدود ۵ متر است. بنابراین میزان انرژی نوری که این تلسکوپ بازتابی دریافت می‌کند ۲۵ برابر انرژی نوری است که بزرگترین تلسکوپ شکستی جهان دریافت می‌دارد.

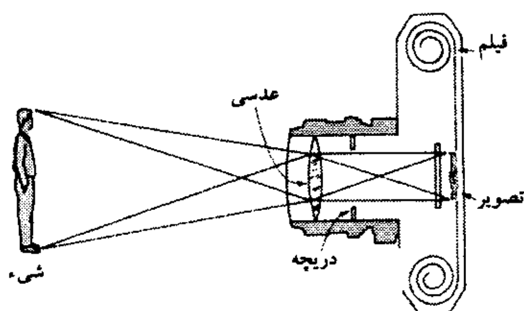
در تلسکوپهای بازتابی برای دیدن تصویر نهایی از یک آینهٔ کوچک تخت مورب که در فاصلهٔ کانونی آینهٔ کاو قرار دارد استفاده می‌شود. این آینه تصویر جسم دور را در پشت عدسی چشمی که یک ذره‌بین است تشکیل می‌دهد. این نوع دوربین را دوربین نیوتون می‌نامند.



شکل۷-۱۳

۷ـ۹ دوربین عکاسی

دوربین عکاسی از جعبه‌ای تشکیل شده که دارای روزنه‌ای است که یک عدسی آن را پوشانده است. در سطح کانونی این عدسی و درون جعبه، فیلم عکاسی قرار دارد. بین فیلم و عدسی یک دریچه قرار دارد که می‌تواند باز و بسته شود. بخشهای دیگر دوربین عکاسی عبارت است از نورسنج، منظره‌یاب و پیچهای تنظیم که به کمک آنها زمان باز بودن دریچهٔ دوربین متناسب با میزان نور و فاصله تنظیم می‌شود، شکل ۷-۱۴.

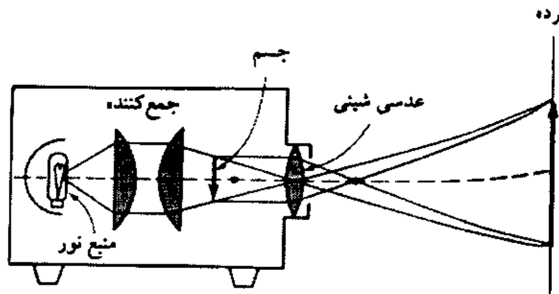


شکل۷-۱۴

در هنگام عکسبرداری عدسی دوربین را آن اندازه جلو و عقب می‌بریم تا تصویر جسم موردنظر روی فیلم عکاسی قرار گیرد. دراین صورت تصویر حقیقی و وارونه بر فیلم تشکیل می‌شود. با فشار دادن یک دکمه، دریچه باز می‌شود و نور به درون دوربین راه می‌یابد و روی فیلم اثر می‌کند. سپس تصویری را که روی فیلم تشکیل می‌شود با داروهای مخصوص ثابت و ظاهر می‌کنند.

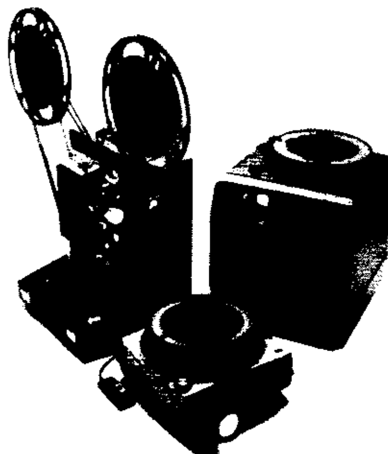
۷ـ۱۰ پروژکتور

پروژکتور دستگاهی است که برای نشان دادن فیلم یا اسلاید به‌کار می‌رود. هر پروژکتور از یک چشمهٔ نور قوی، آینه، و مجموعهٔ چند عدسی تشکیل شده است، شکل ۷-۱۵. طرز کار پروژکتور به این شکل است که لامپ که در مرکز آینهٔ کاو و کانون عدسی متمرکزکنندهٔ نور قرار دارد پرتوهای نور را بر فیلم یا اسلاید می‌تاباند. فیلم کمی دورتر از عدسی تشکیل‌دهندهٔ تصویر قرار دارد. این عدسی تصویری بسیار بزرگتر و حقیقی و وارونه در طرف دیگر عدسی و روی پرده تشکیل می‌دهد. برای آنکه تصویر روی پرده مستقیم باشد فیلم یا اسلاید به صورت وارونه در پشت عدسی قرار داده می‌شود.



شکل۷-۱۵

در پروژکتور فیلم، دستگاهی به‌طور خودکار فیلم را حرکت می‌دهد به‌طوری که در هر ثانیه حدود ۲۰ تصویر روی پرده ظاهر می‌شود. به دلیل اثر دوام بینایی در چشم تصویرهای مجزا به صورت پیوسته و متحرک دیده می‌شوند. در شکل ۷-۱۶ پروژکتور اسلاید و پروژکتور فیلم نشان داده شده است.



شکل۷-۱۶

خلاصهٔ فصل

دستگاههای نوری وسایلی هستند که به کمک آنها انسان می‌تواند اجسام بسیار کوچک یا بسیار دور را مشاهده کند و از اجسام عکس یا فیلم تهیه کند و به نمایش بگذارد.

برای دیدن اجسام بسیار ریز از ذره‌بین و میکروسکوپ استفاده می‌شود. میکروسکوپ الکترونی دستگاهی است که با آن می‌توان ساختمان بلورها و مولکولها و یاخته‌های بسیار کوچک را مطالعه کرد.

برای دیدن اجسام دور فضایی از تلسکوپهای بازتابی یا شکستی استفاده می‌کنیم. برای دیدن اجسام دور زمینی لازم است آخرین تصویر مستقیم باشد، از این‌رو از دوربین گالیله یا دوربین دوچشمی استفاده می‌شود.

برای تصویربرداری از دوربین عکاسی استفاده می‌کنیم و برای نشان دادن فیلم یا اسلاید، پروژکتور را به‌کار می‌بریم.

توان، درشتنمایی و دامنهٔ تنظیم از مشخصه‌های ابزار نوری است که در این فصل به صورت زیر تعریف شدند:

توان هر دستگاه نوری نسبت بزرگی زاویهٔ تصویر نهایی (α') به طول جسم است (AB) و با نماد P نشان داده می‌شود، $P = \dfrac{\alpha'}{AB}$.

بزرگنمایی زاویه‌ای یا درشتنمایی هر دستگاه نوری نسبت بزرگی زاویه‌ای تصویر نهایی (α') به بزرگی زاویه‌ای شیء (α) است، $M = \dfrac{\alpha'}{\alpha}$.

دامنهٔ تنظیم هر دستگاه نوری فاصله‌ای است که اگر شیء در این فاصله جابه‌جا شود تصویر آن از حداقل رؤیت به حداکثر رؤیت برسد.

هدفهای آموزشی

اکنون که این فصل را به پایان رسانیده‌اید باید بتوانید

- کاربرد ذره‌بین را شرح دهید.
- توان و درشتنمایی ذره‌بین را محاسبه کنید.
- ساختمان میکروسکوپ را شرح دهید.
- طرز کار میکروسکوپ را شرح دهید.
- تفاوت میکروسکوپ معمولی با میکروسکوپ الکترونی را شرح دهید.
- ساختمان و طرز کار دوربین نجومی را شرح دهید.
- ساختمان و طرز کار دوربین گالیله را شرح دهید.
- ساختمان و طرز کار دوربین دو چشمی را شرح دهید.
- ساختمان و طرز کار دوربین عکاسی را شرح دهید.

- ساختمان و طرز کار پروژکتور را شرح دهید.
- تفاوت کار پروژکتور اسلاید با پروژکتور فیلم را شرح دهید.

خود را بیازمایید

پرسشها

۱. تصویر یک جسم کوچک را در دوربین رسم کنید.
۲. میکروسکوپ از چه قسمتهایی تشکیل شده است؟ شرح دهید.
۳. توان و درشتنمایی دستگاه نوری را تعریف کنید.
۴. توان میکروسکوپ را حساب کنید.
۵. درشتنمایی دوربین نجومی را حساب کنید. برای بیشتر کردن درشتنمایی دوربین نجومی چه باید کرد؟
۶. چگونه می‌توانید با دوربین نجومی از یک سیاره یا ستاره عکس بگیرید؟ شرح دهید.
۷. ساختمان پروژکتور و طرز کار آن را شرح دهید.
۸. منظور از تنظیم دوربین عکاسی هنگام عکسبرداری چیست؟
۹. مدت زمانی که دریچهٔ دوربین عکاسی باز می‌شود به چه عواملی بستگی دارد؟
۱۰. چه عاملی سبب می‌شود که تصویر فیلم به‌صورت پیوسته دیده شود؟

پرسشهای چهارگزینه‌ای

۱. چرا با ذره‌بین اجسام ریز بهتر دیده می‌شوند؟
الف) تصویر مجازی است.
ب) بزرگی زاویه‌ای تصویر، بزرگتر از بزرگی زاویه‌ای شیء است.
پ) تصویر در بینهایت دور است.
ت) تصویر روشنتر است.
۲. توان کدام دستگاه نوری صفر است؟
الف) ذره‌بین   ب) میکروسکوپ   پ) دوربین زمینی   ت) دوربین نجومی
۳. در کدام دستگاه نوری از عدسی واگرا استفاده می‌شود؟
الف) میکروسکوپ   ب) دوربین زمینی   پ) دوربین گالیله   ت) دوربین نجومی
۴. طول لولهٔ میکروسکوپ برابر است با
الف) $f_o + f_e$ ب) $f_o - f_e$ پ) $f_e f_o$ ت) $q_1 + p_2$

۵. چرا در دوربین زمینی منشور به‌کار می‌بریم؟

الف) می‌خواهیم درشتنمایی زیاد شود. ب) تا تصویر نهایی مستقیم شود.

پ) تا قطر ظاهر تصویر زیاد شود. ت) تا تصویر نهایی حقیقی شود.

۶. فاصلهٔ کانونی یک ذره‌بین ۲٫۵cm است. توان آن چند دیوپتر است؟

الف) ۴۰d ب) ۵۰d پ) ۰٫۴d ت) ۰٫۵d

۷. در یک میکروسکوپ بزرگنمایی شیئی ۴۰ و بزرگنمایی چشمی ۳۰ است. بزرگنمایی میکروسکوپ چقدر است؟

الف) ۷۰ ب) ۱۰ پ) ۱۲۰۰ ت) ۱٫۳۳

۸. بزرگترین دوربینهای جهان از چه نوع‌اند؟

الف) منشوری ب) شکستی پ) بازتابی ت) دوربین گالیله

۹. یک تلسکوپ نجومی برای چشم سالم تنظیم شده و طول لولهٔ آن $f_o + f_e$ است. اگر آن را شخص نزدیک‌بینی به‌کار برد، طول لوله را چگونه باید تغییر دهد؟

الف) کوتاه کند.

ب) بلند کند.

پ) تغییر بدهد.

ت) در هیچ شرایطی نمی‌تواند این تلسکوپ را به‌کار برد.

۱۰. یک دوربین عکسبرداری که دارای عدسی‌ای به فاصلهٔ کانونی ۱۰cm است می‌تواند از ۱ متری تا بینهایت را عکسبرداری کند. جابه‌جایی عدسی این دوربین حدود چند سانتیمتر است؟

الف) ۱ ب) ۲ پ) ۳ ت) ۴

۱۱. فاصلهٔ کانونی شیئی تلسکوپی (دوربین نجومی) ۱۲۰cm و فاصلهٔ کانونی چشمی آن ۵cm است. وقتی تصویر جسم در بینهایت دور دیده شود طول لولهٔ دوربین چند سانتیمتر است؟

الف) ۲۴cm ب) ۱۱۵cm پ) ۱۲۵cm ت) ۱۳۰cm

۱۲. در یک دوربین گالیله فاصلهٔ کانونی شیئی ۱۲۰cm و فاصلهٔ کانونی چشمی آن ۵cm است. وقتی تصویر جسم دور در بینهایت دور دیده شود، طول لولهٔ دوربین چند سانتیمتر است؟

الف) ۲۴cm ب) ۱۱۵cm پ) ۱۲۵cm ت) ۱۳۰cm

۱۳. در یک دوربین نجومی طول لوله ۱۲۵cm و بزرگنمایی زاویه‌ای آن ۲۴ است. فاصلهٔ کانونی چشمی و شیئی این دوربین چقدر است؟

الف) $f_o = ۱۲۰\text{cm}, f_e = ۵\text{cm}$ ب) $f_e = ۱۲۰\text{cm}, f_o = ۵\text{cm}$

پ) $f_o = ۱۰۰\text{cm}, f_e = ۲۵\text{cm}$ ت) $f_e = ۱۰۰\text{cm}, f_o = ۲۵\text{cm}$

۱۴. در یک دوربین گالیله طول لولهٔ دوربین ۹۵ سانتیمتر و بزرگنمایی زاویه‌ای آن ۲۰ است. فاصلهٔ کانونی چشمی و شیئی هر یک چند سانتیمتر است؟

الف) $f_e = ۵$ ،$f_o = ۲۰$

ب) $f_e = ۲۰$ ،$f_o = ۵$

پ) $f_e = ۲۵$ ،$f_o = ۵$

ت) $f_e = ۵$ ،$f_o = ۲۵$

۱۵. یک دوربین عکاسی برای بینهایت تنظیم شده است و نوار فیلم به فاصلهٔ ۱۰cm از عدسی دوربین قرار دارد. برای آنکه از جسم واقع در ۲ متری عکس بگیریم چند میلیمتر عدسی را باید نسبت به فیلم جابه‌جا کنیم؟

الف) ۵٫۲ میلیمتر دور کنیم.
ب) ۵٫۲ میلیمتر نزدیک کنیم.
پ) ۵۲ میلیمتر دور کنیم.
ت) ۵۲ میلیمتر نزدیک کنیم.

۱۶. جسمی را با تلسکوپ نگاه می‌کنیم. اگر نیمهٔ پایینی عدسی شیئی را با جسم کدری بپوشانیم چه اثری در تصویر ظاهر می‌شود؟

الف) هیچ‌گونه اثری به‌وجود نمی‌آید.

ب) تصویر تیره‌تر می‌شود.

پ) قسمت بالای تصویر ناپدید می‌شود.

ت) قسمت پایین تصویر ناپدید می‌شود.

۱۷. در دوربین نجومی برای آنکه از جسم دوری عکسبرداری کنیم طول لوله (فاصلهٔ دو عدسی) باید چگونه تغییر کند؟

الف) زیاد شود
ب) کم شود
پ) تغییر نیابد
ت) غیرممکن است

۱۸. ذره‌بین چه کمیتی را افزایش می‌دهد؟

الف) روشنایی تصویر
ب) قطر ظاهری جسم
پ) فاصلهٔ جسم تا چشم
ت) فاصلهٔ تصویر تا چشم

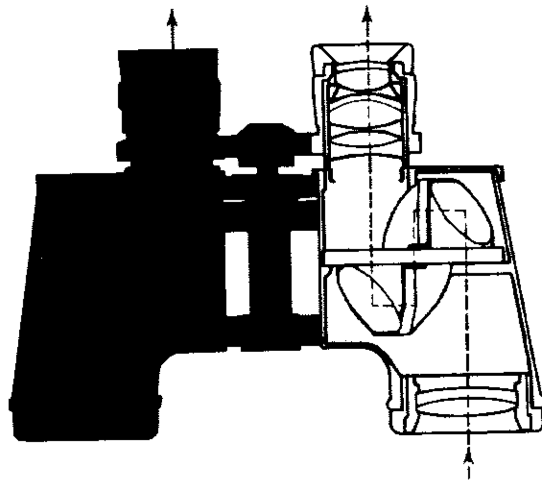
۱۹. کدامیک از گزاره‌های زیر در مورد منشورهایی که در دوربین‌های دو چشمی، مطابق شکل ۷-۱۷، به کار رفته‌اند دقیق‌تر است؟

الف) منشورها را برای شکست نور به کار برده‌اند.

ب) منشورها برای تشکیل تصویر به‌کار رفته‌اند.

پ) ضریب شکست شیشه باید کمتر از مقدار ماکسیمم معینی باشد.

ت) تا وقتی که منشور به‌طور قائم و مطابق شکل قرار گرفته است دو زاویهٔ دیگر اهمیتی ندارد.



شکل۷-۱۷

۲۰. درکدامیک از موارد زیر دوربین عکاسی با چشم انسان تفاوت دارد؟

الف) دوربین عکاسی همیشه تصویر وارونه تشکیل می‌دهد ولی چشم خیر.

ب) در دوربین عکاسی از عدسی با فاصلهٔ کانونی ثابت استفاده می‌کنند، در چشم چنین نیست.

پ) دوربین عکاسی همیشه تصویر حقیقی تشکیل می‌دهد ولی چشم خیر.

ت) دوربین عکاسی نمی‌تواند روی اجسام واقع در بینهایت تمرکز کند، ولی چشم می‌تواند.

تمرینها

۱. فاصلهٔ کانونی یک ذره‌بین ۲cm است. دامنهٔ تنظیم آن برای یک چشم سالم با فاصلهٔ حداقل رؤیت ۲۰cm چقدر است؟

پاسخ: ۰٫۲ mm

۲. فاصلهٔ کانونی عدسی شیئی میکروسکوپی ۵ mm است و جسم کوچکی در فاصلهٔ ۵٫۱ میلیمتری آن قرار دارد. اگر بزرگنمایی عدسی چشمی ۲۰ باشد، بزرگنمایی میکروسکوپ چقدر است؟

پاسخ: ۱۰۰۰

۳. در یک میکروسکوپ فاصلهٔ کانونی شیئی و چشمی به ترتیب ۰٫۵ سانتیمتر و ۲٫۵ سانتیمتر و فاصلهٔ آنها از یکدیگر ۲۵cm است. معین کنید فاصلهٔ جسم را تا عدسی شیئی برای آنکه تصویر انتهایی در بینهایت دور باشد.

پاسخ: ۰٫۵۱cm

۴. در یک دوربین نجومی $L = 105\,\text{cm}$ و بزرگنمایی زاویه‌ای ۲۰ = M است. توان شیئی و چشمی آن چقدر است؟

پاسخ: $P_e = 20$ ، $P_o = 1$

۵. در یک دوربین گالیله $f_o = 100\,\text{cm}$ و $f_e = 5\text{cm}$ است. بزرگنمایی زاویه‌ای (M) و طول لولهٔ دوربین (L) چقدر است؟

پاسخ: ۱۰۰ و $95\,\text{cm}$

۶. جسمی را به فاصلهٔ ۵٫۱ میلیمتر از عدسی شیئی میکروسکوپی به همگرایی ۲۰ دیوپتر قرار می‌دهیم. اگر فاصلهٔ کانونی چشمی ۵ سانتیمتر باشد، طول لولهٔ میکروسکوپ چقدر باید باشد تا تصویر نهایی در بینهایت دور قرار گیرد؟

پاسخ: $L = 30{,}5\,\text{cm}$

۷. برجی به طول $450\,\text{m}$ به فاصلهٔ ۴٫۵ کیلومتر از ناظری قرار دارد. بزرگی زاویه‌ای این برج چقدر است و طول تصویر آن روی پرده شبکیه چند میلیمتر است؟ فاصلهٔ پردهٔ شبکیه تا عدسی چشم ۱۵ میلیمتر است.

پاسخ: $\alpha = 0{,}1\,\text{rad}$ و $1{,}5\,\text{mm}$

۸. فاصلهٔ کانونی عدسی یک دوربین عکاسی $80\,\text{mm}$ و برای عکسبرداری از دور تنظیم شده است. اگر بخواهیم از جسم واقع در ۲ کیلومتری عکس بگیریم، عدسی را چند میلیمتر باید جابه‌جا کنیم؟

پاسخ: $0{,}04\,\text{mm}$

خودآزمایی کلی

پرسشهای چهارگزینه‌ای از هفت فصل کتاب

۱. انرژی فوتون نور با کدام کمیت نسبت مستقیم دارد؟

الف) سرعت　　ب) بسامد　　پ) طول موج　　ت) دوره

۲. انرژی کدام فوتون بیشتر است؟

الف) ایکس　　ب) گاما　　پ) نور　　ت) فرابنفش

۳. چه کسی نظریهٔ فوتونی نور را بیان کرد؟

الف) نیوتون　　ب) هویگنس　　پ) پلانک　　ت) اینشتین

۴. پرتوهایی که از یک چشمهٔ نقطه‌ای منتشر می‌شوند نسبت به هم چگونه‌اند؟

الف) موازی　　ب) همگرا　　پ) واگرا　　ت) نامشخص

۵. پرتو نور به‌طور عمود بر آینه‌ای می‌تابد. جهت پرتو بازتابیده با آن چه زاویه‌ای می‌سازد؟

الف) ۱۸۰　　ب) ۹۰　　پ) ۴۵　　ت) صفر

۶. میله‌ای با یک آینه زاویهٔ ۲۰ درجه می‌سازد. میله چه زاویه‌ای با تصویرش می‌سازد؟

الف) ۲۰°　　ب) ۴۰°　　پ) ۷۰°　　ت) ۹۰°

۷. یک پرتو نور با آینهٔ تختی زاویهٔ ۲۵° می‌سازد. این پرتو با پرتو بازتابیده چه زاویه‌ای می‌سازد؟

الف) ۲۵°　　ب) ۵۰°　　پ) ۷۵°　　ت) ۱۵۰°

۸. جسمی از فاصلهٔ $2f$ به کانون آینهٔ کاوی نزدیک می‌شود. تصویرش چگونه جابه‌جا می‌شود؟

الف) از $2f$ به f می‌رسد.　　ب) از $2f$ دور می‌شود.

پ) از f به آینه نزدیک می‌شود.　　ت) از $2f$ به آینه نزدیک می‌شود.

۹. جسمی به فاصلهٔ p از آینهٔ کاوی به فاصلهٔ کانونی f قرار دارد. فاصلهٔ تصویر حقیقی آن تا آینه چقدر است؟

الف) $\frac{pf}{p+f}$　　ب) $\frac{p+f}{pf}$　　پ) $\frac{p-f}{pf}$　　ت) $\frac{pf}{p-f}$

۱۰. در یک آینهٔ کاو، فاصلهٔ جسم از تصویر حقیقی آن $30\,cm$ است. اگر بزرگنمایی آینه $\frac{1}{2}$ باشد، شعاع آینه چند سانتیمتر است؟

الف) ۴۸　　ب) ۲۴　　پ) ۱۶　　ت) ۸

۱۱. یک آینه از جسمی که مقابل آن است تصویری تشکیل می‌دهد که نسبت به جسم مستقیم است. وقتی جسم را به آینه نزدیک کنیم، تصویر هم به آینه نزدیک و بزرگتر می‌شود. نوع تصویر و آینه کدام است؟

الف) حقیقی و کاو ب) مجازی و تخت پ) مجازی و کوژ ت) مجازی و کاو

۱۲. یک دسته پرتو همگرا به یک آینهٔ کاو می‌تابد. بلافاصله پس از بازتاب پرتوها چگونه‌اند؟

الف) موازی ب) همگرا پ) واگرا ت) غیرمشخص

۱۳. نور با زاویهٔ تابش °۴۵ به سطح آب می‌تابد و °۱۵ منحرف می‌شود و درون آب می‌رود. مجموع زاویهٔ تابش و شکست چند درجه است؟

الف) °۶۰ ب) °۹۰ پ) °۷۵ ت) °۱۰۵

۱۴. بازتاب کلی در چه صورت روی می‌دهد؟

الف) نور از محیط رقیق بتابد. ب) نور از محیط غلیظ بتابد.

پ) نور به‌طور عمود بتابد. ت) نور مماس بتابد.

۱۵. نیمی از سطح یک عدسی کوژ را با کاغذ کدر می‌پوشانیم. تصویر یک جسم چه می‌شود؟

الف) تشکیل نمی‌شود. ب) نصف می‌شود.

پ) تصویر جابه‌جا می‌شود. ت) روشنایی تصویر کم می‌شود.

۱۶. توان یک عدسی ۴− دیوپتر است. فاصلهٔ کانونی آن چند سانتیمتر است؟

الف) ۱۰۰ ب) ۵۰ پ) ۲۵ ت) ۲۰

۱۷. توان و فاصلهٔ کانونی یک تیغهٔ شیشه‌ای به ضخامت ۲mm به ترتیب چقدر است؟

الف) بینهایت‌وصفر ب) صفروبینهایت پ) ۲۰و۱۰ ت) ۱۰و۲۰

۱۸. در چه صورت همگرایی چشم کم است؟

الف) چشم دوربین باشد. ب) چشم نزدیک‌بین باشد.

پ) چشم آستیگمات باشد. ت) پیرچشم باشد.

۱۹. در دوربین عکاسی تصویر جسم چگونه است؟

الف) حقیقی‌ووارونه ب) حقیقی‌ومستقیم پ) مجازی‌ومستقیم ت) مجازی‌ووارونه

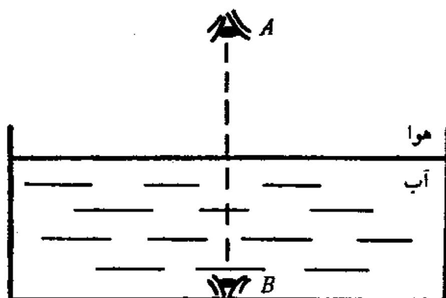
۲۰. یکای بزرگنمایی خطی و زاویه‌ای به ترتیب کدام است؟

الف) متر، رادیان ب) رادیان، متر

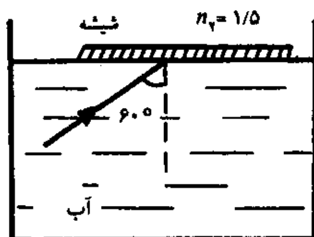
پ) متر، درجه ت) عدد است و یکا ندارد

۲۱. در شکل، ناظر A ناظر B را در فاصلهٔ H_1 از خود و ناظر B ناظر A را در فاصلهٔ H_2 از خود می‌بیند. اگر AB تقریباً بر سطح آب عمود و ضریب شکست آب نسبت به هوا ۴/۳ باشد، نسبت $\frac{H_1}{H_2}$ برابر است با

الف) $\frac{۴}{۳}$ ب) $\frac{۳}{۴}$ پ) $\frac{۱}{۴}$ ت) $\frac{۱}{۳}$



۲۲. یک تیغهٔ شیشه‌ای به ضریب شکست ۱/۵ را مماس بر سطح آب نگه می‌داریم. پرتو نور تکفامی مطابق شکل از آب به سطح تیغه می‌تابد. کدام بیان در مورد این پرتو درست است؟



الف) با زاویهٔ °۶۰ وارد هوا می‌شود.

ب) با زاویهٔ °۶۰ مجدداً از شیشه وارد آب می‌شود.

پ) با زاویهٔ بزرگتر از °۶۰ وارد هوا می‌شود.

ت) با زاویهٔ کوچکتر از °۶۰ وارد هوا می‌شود.

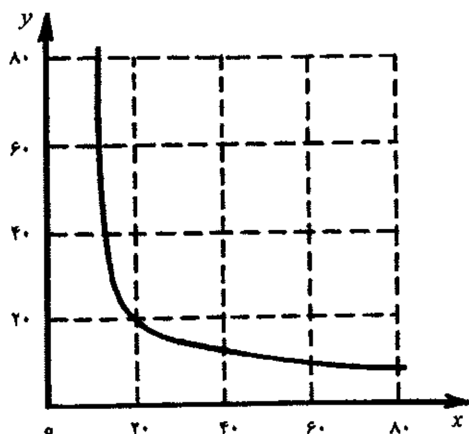
۲۳. فاصلهٔ جسمی از یک عدسی x سانتیمتر و فاصلهٔ تصویر حقیقی آن از عدسی y سانتیمتر است. نمودار تغییرات y برحسب x مطابق شکل زیر است. دراین‌صورت

الف) عدسی همگرا و به فاصلهٔ کانونی ۱۰cm است.

ب) عدسی همگرا و به فاصلهٔ کانونی ۲۰cm است.

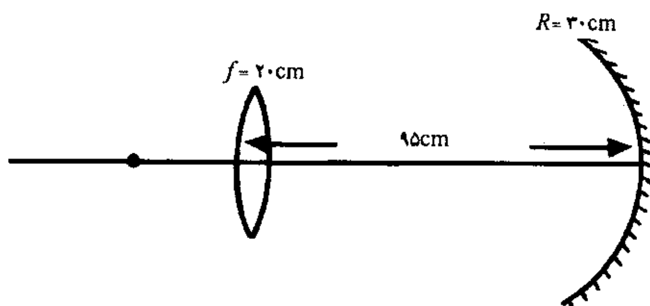
پ) عدسی همگرا و به فاصلهٔ کانونی ۴۰cm است.

ت) عدسی واگرا و به فاصلهٔ کانونی ۲۰cm است.



۲۴. مطابق شکل زیر یک نقطهٔ نورانی در کانون عدسی محدبی با فاصلهٔ کانونی ۲۰ سانتیمتر قرار گرفته است. آینهٔ کاوی با شعاع ۳۰ سانتیمتر و به فاصلهٔ کانونی ۹۵ سانتیمتر در طرف دیگر عدسی قرار دارد. فاصلهٔ آخرین تصویر نقطهٔ نورانی را از عدسی تعیین کنید.

الف) ۲۶٫۷cm　　ب) ۱۶٫۰cm　　پ) ۸۰٫۰cm　　ت) ۱۴٫۴cm



۲۵. سه عدسی شیشه‌ای A، B، C با ضریب شکست $n = ۱٫۵$ و با مشخصه‌های زیر مطابق شکل در کنار یکدیگر قرار گرفته‌اند.

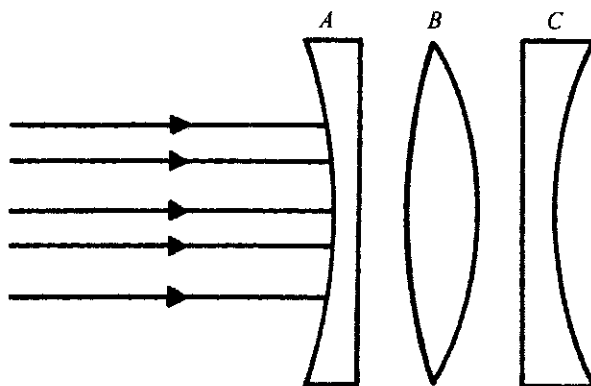
عدسی A، کاو ـ تخت، با شعاع انحنای ۱۰۰cm؛

عدسی B، دوکوژ، با شعاعهای انحنای ۲۰۰cm (طرف چپ) و ۱۰۰cm (طرف راست)؛

عدسی C، تخت ـ کاو، با شعاع انحنای ۲۰۰cm.

همگرایی این مجموعه چند دیوپتر است؟

الف) ۱٫۰　　ب) ۲٫۰−　　پ) صفر　　ت) ۱٫۰−



۲۶. زاویهٔ رأس منشوری °۷۵ و ضریب شکست آن برای نور آبی $\sqrt{۲}$ است. حداقل زاویهٔ تابش برای پرتوهای آبی رنگ که به این منشور می‌تابند باید چقدر باشد تا نور از وجه مقابل خارج شود؟

الف) °۳۰　　ب) صفر درجه　　پ) °۹۰　　ت) °۴۵

۲۷. روی شیشهٔ بی‌رنگ با رنگ سبز شفاف جمله‌ای نوشته شده است. اگر در پشت این شیشه لامپ با نور سرخ روشن شود

الف) جمله دیده نمی‌شود. ب) جمله به رنگ زرد دیده می‌شود.

پ) جمله سیاه دیده می‌شود. ت) جمله به رنگ قرمز دیده می‌شود.

۲۸. شخصی مقابل آینهٔ مسطحی که روی دیواری نصب شده ایستاده است، و سطح قسمتی از دیوار پشت سر خود را در آینه می‌بیند. سطحی از دیوار که در آینه دیده می‌شود،

الف) به فاصلهٔ شخص از آینه بستگی ندارد.

ب) فقط به ابعاد آینه بستگی دارد.

پ) به فاصلهٔ آینه از دیوار بستگی ندارد.

ت) به فاصلهٔ شخص از آینه و ابعاد آینه و فاصلهٔ دیوار از آینه بستگی دارد.

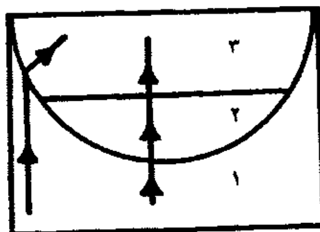
۲۹. فاصلهٔ کانونی عدسی چشمی یک دوربین نجومی ۲۰mm است. وقتی شخصی که چشم او سالم است بدون تطابق آخرین تصویر را می‌بیند، فاصلهٔ دو عدسی آن از هم ۵۰۰mm است. درشتنمایی دوربین در این حالت چقدر است؟

الف) ۲۲ ب) ۲۳ پ) ۲۴ ت) ۲۵

۳۰. دو پرتو تکفام مشابه مطابق شکل از محیط ۱ می‌تابند. با توجه به‌نحوهٔ عبور نور از هر سه محیط کدامیک از رابطه‌ای زیر دربارهٔ ضریب شکستها درست است؟

الف) $n_1 = n_2 = n_3$ ب) $n_1 = n_2, n_2 > n_3$

پ) $n_1 = n_2, n_2 < n_3$ ت) $n_2 = n_3, n_1 > n_2$

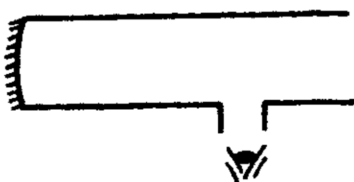


۳۱. شکل زیر یک تلسکوپ بازتابی را نشان می‌دهد که یک وسیله کم دارد. با کدامیک از وسایل زیر می‌توان آن را کامل کرد؟

۱ـ منشور بازتاب کلی.

۲ـ آینهٔ کاو.

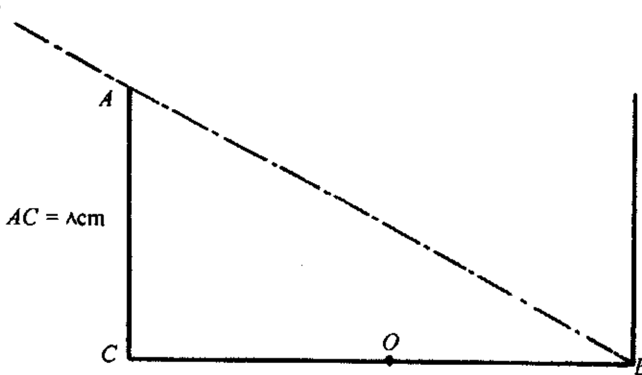
۳ـ آینهٔ تخت.



الف) ۳ و ۲ ب) ۱ و ۲ پ) ۱ و ۳ ت) ۱ و ۲ و ۳

۳۲. مطابق شکل، چشم ناظری در وضعیتی قرار دارد که فقط می‌تواند پایین دیوارهٔ مقابل ظرف (نقطهٔ B) را ببیند. ظرف را از مایعی پر می‌کنیم. ناظر در همان وضعیت قبل قادر به دیدن نقطهٔ B و محیط BC می‌شود. ضریب شکست نسبی مایع نسبت به هوا برابر است با

الف) $\frac{\sqrt{۲}}{۲}$ ب) $\frac{\sqrt{۳}}{۲}$ پ) $\frac{\sqrt{۸}}{۵}$ ت) $\frac{\sqrt{۶}}{۲}$



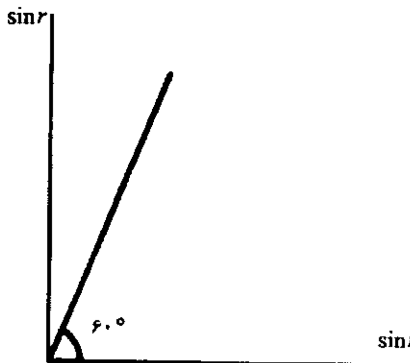
۳۳. پرتو نور تکفامی با زاویهٔ i از محیط A وارد محیط B می‌شود. اگر شکل زیر نمودار تغییرات $\sin r$ برحسب $\sin i$ را به‌دست دهد، کدامیک از موارد زیر درست است؟

الف) سرعت نور در محیط A بیشتر از سرعت نور در محیط B است.

ب) سرعت نور در محیط A، $\frac{\sqrt{۳}}{۲}$ برابر سرعت نور در محیط B است.

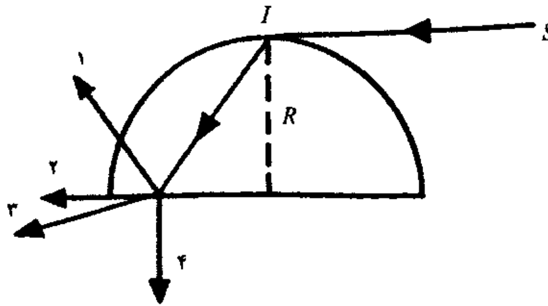
پ) ضریب شکست محیط A نسبت به محیط B برابر $\frac{\sqrt{۳}}{۳}$ است.

ت) ضریب شکست مطلق محیط A بیشتر از ضریب شکست مطلق محیط B است.

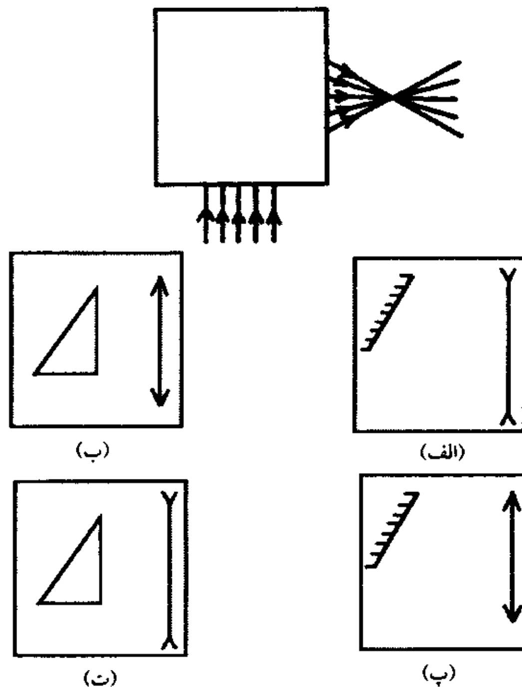


۳۴. پرتو SI مماس بر نیمکرهٔ شیشه‌ای به شعاع R تابیده است. کدامیک از چهار پرتو نشان داده شده در شکل صفحهٔ بعد، پرتو خروجی نور از این نیمکره را درست نشان می‌دهد؟

الف) ۱ ب) ۲ پ) ۳ ت) ۴



۳۵. کدامیک از وسایل زیر می‌تواند انحرافی مطابق شکل برای پرتوها به‌وجود آورد؟



۳۶. عدسی کوژی از چشمهٔ نوری S که روی محور اصلی آن قرار دارد تصویری حقیقی تشکیل می‌دهد. آینهٔ کاوی به شعاع R را در چه فاصله‌هایی از تصویر باید قرار داد تا تصویر نهایی بر S منطبق شود؟

الف) R و صفر

ب) R و $۲R$

پ) $\frac{R}{۲}$ و R

ت) $\frac{R}{۲}$ و صفر

۳۷. وقتی درگودی یک عدسی هلالی شکل مایع شفافی ریخته شود،

الف) فاصلهٔ کانونی آن زیاد می‌شود.

ب) فاصلهٔ کانونی آن کم می‌شود.

پ) فاصلهٔ کانونی آن تغییر نمی‌کند.

ت) تغییر فاصلهٔ کانونی به ضریب شکست عدسی و مایع بستگی دارد.

۳۸. عدسی کوژی از یک جسم که به فاصلهٔ ۱۸ سانتیمتر از آن قرار دارد تصویری دو برابر جسم روی پرده‌ای تشکیل می‌دهد. عدسی را بین جسم و پرده چقدر باید جابه‌جا کنیم تا جای تصویر تغییر نکند؟

الف) ۳۶cm ب) ۹cm پ) ۱۸cm ت) ۲۷cm

۳۹. یک عدسی همگرا از جسمی تصویری حقیقی تشکیل می‌دهد. تیغهٔ متوازی‌السطوحی را یک بار عمود بر محور اصلی بین جسم و عدسی و بار دیگر بین تصویر و عدسی قرار می‌دهیم. در این صورت محل تصویر نسبت به عدسی

الف) در حالت اول نزدیک و در حالت دوم دور می‌شود.

ب) در حالت اول دور و در حالت دوم نزدیک می‌شود.

پ) در هر دو حالت دور می‌شود.

ت) تغییر نمی‌کند، زیرا تیغه نور را منحرف نمی‌کند.

۴۰. علت تجزیهٔ نور سفید در منشور این است که،

الف) سرعت نور در هوا و منشور متفاوت است.

ب) نور سفید از رنگهای مختلف تشکیل شده است.

پ) ضریب شکست منشور برای رنگهای مختلف متفاوت است.

ت) نور از محیط رقیق وارد محیط غلیظ می‌شود.

۴۱. یک اتاق تاریک از جسم روشن تصویری به‌دست می‌دهد. اگر جسم را ۸ سانتیمتر جابه‌جا کنیم، طول تصویر در این حالت ۱٫۳۵ برابر حالت اول می‌شود. فاصلهٔ اولیهٔ جسم روزنهٔ اتاق تاریک کدام است؟

الف) ۳۲ سانتیمتر ب) ۴۰ سانتیمتر پ) ۵۰ سانتیمتر ت) ۶۰ سانتیمتر

۴۲. در یک آینهٔ تخت پرتو بازتابیده نیمساز زاویهٔ بین پرتو تابش و سطح آینه است. در این حالت زاویهٔ تابش برابر است با

الف) °۶۰ ب) °۴۵ پ) °۹۰ ت) °۳۰

۴۳. فاصلهٔ نقطهٔ روشنی از کانون اصلی آینهٔ مقعری ۱۶ سانتیمتر و فاصلهٔ تصویر از کانون اصلی ۱۰۰ سانتیمتر است. فاصلهٔ کانونی آینه برحسب سانتیمتر کدام است؟

الف) ۵۸ ب) ۴۲ پ) ۴۰ ت) ۳۶

۴۴. جسمی با سرعت ۲۰ متر بر ثانیه در امتدادی که با آینهٔ تختی زاویهٔ ۳۰ درجه می‌سازد به آن نزدیک می‌شود. سرعت نزدیک شدن تصویر به جسم برحسب متر بر ثانیه برابر است با

الف) ۴۰ ب) ۲۰ پ) ۱۰ ت) $۲۰\sqrt{۲}$

۴۵. اگر آینهٔ کاوی را در برابر خورشید بگیریم، لکهٔ روشنی به قطر ۰٫۵ سانتیمتر در سطح کانونی آینه تشکیل می‌شود. اگر قطر ظاهری خورشید تقریباً ۰٫۰۱ رادیان باشد، شعاع آینه چند سانتیمتر است؟

الف) ۱۰۰ ب) ۷۵ پ) ۵۰ ت) ۲۵

۴۶. فاصلهٔ جسمی از یک آینهٔ کروی p و فاصلهٔ کانونی آن $\frac{۳}{۴}p$ است. طول تصویر وارونه‌ای که تشکیل می‌شود چند برابر جسم است؟

الف) $\frac{۴}{۳}$ ب) $\frac{۳}{۴}$ پ) ۴ ت) ۳

۴۷. اگر فاصلهٔ جسم و تصویر حقیقی در آینهٔ کاوی برابر با ۳۰ سانتیمتر و طول تصویر $\frac{۱}{۴}$ طول جسم باشد، شعاع آینه کدام است؟

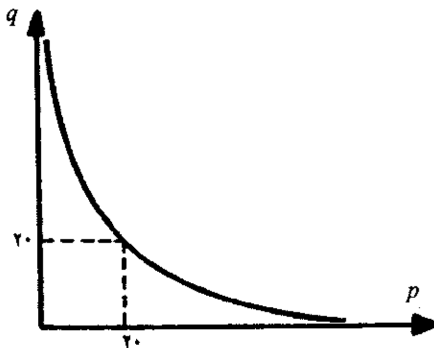
الف) ۴۸ ب) ۲۴ پ) ۱۶ ت) ۸

۴۸. اگر فاصلهٔ جسم و تصویر Δ و f فاصلهٔ کانونی آینهٔ کاو و جسم و تصویر هر دو حقیقی و فاصله‌های آنها از آینه به ترتیب f و q و بزرگنمایی آینه γ باشد، کدام رابطهٔ زیر غلط است؟

الف) $p = \frac{f(\gamma + ۱)}{\gamma}$ ب) $q = f(\gamma + ۱)$

پ) $f = \frac{\gamma\Delta}{۱ - \gamma^۲}$ ت) $p = \frac{f(\gamma - ۱)}{\gamma}$

۴۹. اگر فاصلهٔ چشم و تصویر حقیقی آن از یک آینه به ترتیب p و q باشد، نمودار تغییرات q برحسب p مطابق شکل است. دراین صورت



الف) آینهٔ کاو با فاصلهٔ کانونی ۵ سانتیمتر است.

ب) آینهٔ کاو با فاصلهٔ کانونی ۱۰ سانتیمتر است.

پ) آینهٔ کاو با فاصلهٔ کانونی ۳۰ سانتیمتر است.

ت) آینهٔ کاو با فاصلهٔ کانونی ۴۰ سانتیمتر است.

۵۰. یک آینهٔ کروی از جسمی که در فاصلهٔ ۱۵ سانتیمتری آن واقع شده است تصویری مجازی می‌دهد که طولش $\frac{۲}{۳}$ طول جسم است. نوع آینه کدام و فاصلهٔ کانونی آن چند سانتیمتر است؟

الف) کوژ و ۳۰ ب) کوژ و ۴۰ پ) کاو و ۳۰ ت) کاو و ۴۵

۵۱. اگر فاصلهٔ جسم و تصویر از یکدیگر ۲۴ سانتیمتر و بزرگنمایی آینه ۰٫۶ باشد، فاصلهٔ کانونی آینه چند سانتیمتر است؟

الف) ۱۵ ب) ۲۲٫۵ پ) ۳۰ ت) ۴۵

۵۲. یک آینهٔ کاو از جسمی به طول ۸۰ سانتیمتر، تصویری حقیقی به طول ۴ سانتیمتر تشکیل می‌دهد. جسم را به محل تصویر منتقل می‌کنیم. طول تصویر در این حالت چند سانتیمتر می‌شود؟

الف) ۶۴ ب) ۳۲ پ) ۱۶ ت) ۸

۵۳. در یک آینهٔ کروی از شیئی به فاصلهٔ ۶ سانتیمتر از آن، تصویری حقیقی و مستقیم و سه مرتبه بزرگتر ایجاد شده است. نوع آینه و فاصلهٔ کانونی آن برحسب سانتیمتر کدام است؟

الف) کوژ و ۹ ب) کاو و ۹ پ) کاو و ۱۸ ت) کوژ و ۱۸

۵۴. کدامیک از فرمولهای زیر معرف زاویهٔ انحراف نور در منشور است؟

الف) $D = A(۱ - n)$ ب) $D = i + r + A$

پ) $D = i + r - A$ ت) $D = (i - r) + (i' - r')$

۵۵. با کدامیک از فرمولهای زیر می‌توان ضریب شکست نور در منشور را محاسبه کرد؟

الف) $n = \sin\left(\frac{D_m + A}{۲}\right)$ ب) $n = \frac{\sin\frac{D_m + A}{۲}}{\sin\frac{A}{۲}}$

پ) $n = \frac{\sin\left(D_m - \frac{A}{۲}\right)}{\sin\frac{A}{۲}}$ ت) $n \sin r = \sin D$

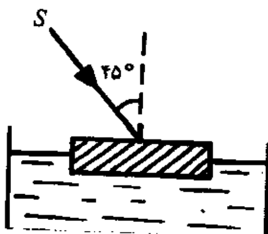
۵۶. یک پرتو نوری از محیط A با زاویهٔ ۶۰ درجه به محیط B می‌تابد و با زاویهٔ °۳۰ وارد محیط B می‌شود. $\frac{v_A}{v_B}$ کدام است؟

الف) ۳ ب) $\sqrt{۳}$ پ) $\sqrt{۲}$ ت) ۲

۵۷. ظرفی به عمق ۱۵ سانتیمتر پر از مایع است و لامپ کوچکی به صورت یک نقطه در کف ظرف روشن است. اگر ضریب شکست مایع $\sqrt{۲}$ فرض شود، قطر دایرهٔ روشنی که بر سطح مایع تشکیل می‌شود چند سانتیمتر است؟

الف) ۲۰ ب) ۳۰ پ) ۱۵ ت) $۱۵\sqrt{۲}$

۵۸. در شکل، پرتو نوری با زاویهٔ °۴۵ به تیغهٔ شیشه‌ای که روی مایعی شناور است می‌تابد. این پرتو با چه زاویه‌ای وارد مایع می‌شود؟



الف) ۴۵ ب) ۳۰

پ) ۶۰ ت) ۹۰

۵۹. ناظری در محیط غلیظ قرار دارد و جسمی را که در محیط رقیق و به فاصلهٔ h از سطح جداکنندهٔ دو محیط است نگاه می‌کند. فاصلهٔ جسم تا تصویر برابر است با

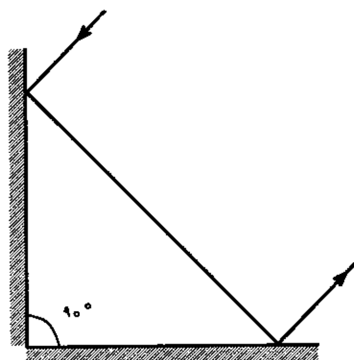
الف) $AA' = e\left(1 - \frac{1}{n}\right)$ و نزدیکتر.
ب) $AA' = e\left(1 - \frac{1}{n}\right)$ و دورتر.
پ) $AA' = e(n - 1)$ و دورتر.
ت) $AA' = e(n - 1)$ و نزدیکتر.

۶۰. دو عدسی نازک (مسطح کوژ و مسطح کاو) را که شعاع انحنای آنها به ترتیب ۲۵ و ۱۲٫۵ سانتیمتر است از طرف سطح مسطح به هم چسبانده‌ایم. اگر ضریب شکست عدسیها $\frac{3}{2}$ باشد، همگرایی مجموعهٔ آنها چند دیوپتر است؟

الف) ۴- ب) ۲- پ) ۲ ت) ۳

۶۱. در شکل، زاویهٔ دو آینه °۹۰ است. پرتو نوری پس از بازتاب از آینهٔ اول به آینهٔ دوم می‌تابد. پرتو بازتابیده از آینهٔ دوم نسبت به پرتو تابیده به آینهٔ اول، چند درجه منحرف می‌شود؟

الف) صفر ب) °۲۰۰ پ) °۱۶۰ ت) °۲۶۰



۶۲. عمق آب در یک استخر ۲m است و نقطهٔ روشنی در کف استخر قرار دارد. اگر از یک متری بالای سطح آب و درست در بالای آن نقطه نگاه کنیم، نقطهٔ روشن در چند متری چشم به‌نظر می‌رسد؟ (ضریب شکست آب $\frac{4}{3}$ است.)

الف) ۲ ب) ۲٫۲۵ پ) ۲٫۵ ت) ۲٫۷۵

۶۳. شیء کوچکی روی محور اصلی یک آینهٔ مقعر (کاو) قرار دارد و فاصله‌اش تا آینه دو برابر فاصلهٔ کانونی است. نوع تصویر و بزرگنمایی آینه کدام است؟

الف) حقیقی، ۱ ب) حقیقی، $\frac{1}{3}$ پ) مجازی، ۱ ت) مجازی، $\frac{1}{3}$

۶۴. یک عدسی از جسمی که در فاصلهٔ ۱۲cm از آن قرار دارد تصویری مجازی می‌دهد که طولش $\frac{۱}{۲}$ طول جسم است. نوع عدسی چیست و فاصلهٔ کانونی آن چند سانتیمتر است؟

الف) واگرا، ۱۲　　ب) واگرا، ۶　　پ) همگرا، ۶۰　　ت) همگرا، ۱۲

۶۵. یک دسته پرتو تکفام با زاویهٔ تابش °۴۵ از هوا به محیط شفافی به ضریب شکست $\sqrt{۳}$ می‌تابد. این دسته پرتو موقع ورود به این محیط چند درجه از راستای اولیه منحرف می‌شود؟

الف) صفر　　ب) ۱۵　　پ) ۳۰　　ت) ۴۵

تمرینهای کلی

۱. یک چشمهٔ نقطه‌ای نور روی محور آینهٔ تختی به شعاع ۵cm و به فاصلهٔ ۵۰cm از مرکز آن قرار دارد. چه سطحی از دیوار روبه‌روی آینه و موازی آن که به فاصلهٔ ۲٫۵ متر از آینه است بر اثر بازتاب نور روشن می‌شود؟

پاسخ: $۲۸۲۶cm^{۲}$

۲. طول سایهٔ برجی در یک لحظهٔ معین ۲۵m است. اگر طول سایهٔ یک میلهٔ یک متری که به‌طور قائم بر زمین قرار دارد در همان لحظه ۲۰cm باشد، طول برج چقدر است؟

پاسخ: ۱۲۵m

۳. آینهٔ کاوی از جسمی روی پرده تصویری تشکیل می‌دهد. اگر فاصلهٔ جسم تا پرده ۴۸cm و بزرگنمایی آینه ۵ باشد، فاصلهٔ کانونی آینه چند سانتیمتر است؟

پاسخ: $f = ۱۰cm$

۴. جسم به چه فاصله از آینهٔ کاوی به شعاع ۱۶cm باید قرار گیرد تا بزرگنمایی آن ۲ باشد؟ تصویر حقیقی است.

پاسخ: ۱۲cm

۵. فاصلهٔ جسمی از تصویر مجازی‌اش در یک آینهٔ کوژ ۳۷٫۵cm است. اگر بزرگنمایی خطی $\frac{۱}{۴}$ باشد، فاصلهٔ کانونی آینه چند سانتیمتر است؟

پاسخ: ۱۰cm

۶. جسمی با سرعت ۵۰m/s روی خطی که با آینه زاویهٔ °۴۵ می‌سازد به آینه نزدیک می‌شود. تصویر این جسم با چه سرعت و در چه جهتی نسبت به مسیر جسم حرکت می‌کند؟

پاسخ: °۹۰ و با سرعت ۴۵m/s روی مسیر خود

۷. دو آینهٔ کاو و کوژ در فاصلهٔ ۴۵cm از یکدیگر مقابل هم قرار دارند و محور اصلی آنها بر هم منطبق و شعاع هر یک از دو آینه ۲۰cm است. جسمی در فاصلهٔ ۱۵cm از آینهٔ کاو قرار دارد. فاصلهٔ تصویر نهایی از آینهٔ کوژ چقدر است؟

پاسخ: ۶cm

۸. جسمی را در ۲۰ سانتیمتری آینهٔ کاوی قرار می‌دهیم. تصویری حقیقی و سه برابر جسم تشکیل می‌شود. در چه فاصله از این آینه، آینه کوژی را باید قرار دهیم تا بزرگنمایی دستگاه $\frac{۳}{۲}$ شود. محور اصلی هر دو آینه بر هم منطبق و فاصلهٔ کانونی آینهٔ کوژ ۵۰cm است.

پاسخ: ۱۱۰cm

۹. درصورتی که فاصلهٔ جسم حقیقی تا تصویرش از دو برابر فاصلهٔ جسم تا آینه کمتر باشد، نوع آینه کدام است؟ شرح دهید.

پاسخ: آینهٔ کروی کاو

۱۰. در آینهٔ کاوی تصویر حقیقی و چهار برابر جسم است. اگر جسم ۳ سانتیمتر از آینه دور شود، طول تصویر حقیقی آن ۳ برابر جسم می‌شود. شعاع انحنای آینه چقدر است؟

پاسخ: ۷۲cm

۱۱. یک پرتو نور به سطح تخت مادهٔ شفافی با زاویهٔ تابش °۶۰ برخورد می‌کند. پرتوهای شکسته و بازتابیده بر هم عمودند. ضریب شکست مادهٔ شفاف چقدر است؟

پاسخ: $n = \sqrt{۳}$

۱۲. پرتوهای نور تکفامی با زاویهٔ °۴۵ به تیغهٔ متوازی‌السطوحی به ضریب شکست $n = \sqrt{۲}$ می‌تابد. ضخامت تیغه ۱٫۲cm است. زاویهٔ خروجی نور چقدر است؟

پاسخ: °۴۵

۱۳. جسمی در چند سانتیمتری عدسی کوژی به فاصلهٔ کانونی $f =$ ۲۵m باید قرار گیرد تا طول تصویرش ۵ برابر شود؟

پاسخ: برای تصویر حقیقی ۳۰mm و برای تصویر مجازی ۲۰m

۱۴. پرده‌ای در فاصلهٔ ۵ متری از جسمی واقع است. تصویر جسم در یک عدسی به‌طور وارونه و چهار برابر روی پرده تشکیل می‌شود. نوع، محل و فاصلهٔ کانونی عدسی را پیدا کنید.

پاسخ: عدسی کوژ، تصویر حقیقی و $f =$ ۰٫۸m است

۱۵. جسمی نورانی در مقابل پرده‌ای و به فاصلهٔ D از آن قرار دارد. عدسی همگرایی را بین آنها جابه‌جا می‌کنیم. دوبار تصویر واضح روی پرده تشکیل می‌شود. در صورتی که d فاصلهٔ دو وضع عدسی باشد، رابطهٔ فاصلهٔ کانونی با D و d چیست؟

پاسخ: $f = \frac{D^{۲} - d^{۲}}{۴D}$ یا $d = \sqrt{D^{۲} - ۴fD}$

۱۶. در مقابل آینه کاوی به فاصلهٔ کانونی ۱۰cm عدسی کوژی به فاصلهٔ کانونی ۲۰cm را طوری قرار می‌دهیم که محور اصلی آنها مشترک و سطح کانونی عدسی منطبق بر سطح آینه باشد. یک جسم نورانی به طول ۴cm در فاصلهٔ ۴۰cm از عدسی قرار دارد. محل و بزرگی تصویر را بیابید.

پاسخ: طول تصویر انتهایی ۲cm است و در فاصلهٔ ۵cm از آینه قرار دارد.

۱۷. شخص نزدیک‌بینی می‌تواند جسمی را که بین فاصلهٔ یک متر و ۱۰ سانتیمتر قرار داشته باشد بخوبی ببیند. اگر عدسی واگرایی به فاصلهٔ کانونی یک متر به‌کار برد، چه فاصله‌هایی را به وضوح خواهد دید؟

پاسخ: از بینهایت تا ۱۱٫۱cm

۱۸. ثابت کنید اگر دو عدسی نازک کوژ به فاصله‌های کانونی f_1 و f_2 را به هم بچسبانیم، فاصلهٔ کانونی عدسی حاصل برابر است با $f = \frac{f_1 f_2}{f_1 + f_2}$.

۱۹. یک عدسی کوژ به فاصلهٔ کانونی ۱۰cm را به چه فاصله از آینهٔ کاوی به فاصلهٔ کانونی ۱۰cm قرار دهیم تا پرتوهایی که موازی با محور اصلی به عدسی می‌تابند پس از عبور از آن و بازتاب از آینه روی خود بازگردند؟

پاسخ: ۳۰cm

۲۰. تلسکوپی را که برای بینهایت تنظیم شده است در مقابل یک قسمت روشن آسمان نگه می‌داریم. پرتوهای خروجی نور از دوربین، استوانه‌ای به قطر 5mm تشکیل می‌دهند. در صورتی‌که قطر دهانهٔ باز شیئی ۲۰cm باشد، بزرگنمایی زاویه‌ای تلسکوپ چه اندازه است؟

پاسخ: ۴

پاسخنامهٔ پرسشهای چهارگزینه‌ای

فصل اول							
ردیف	پاسخ	ردیف	پاسخ	ردیف	پاسخ	ردیف	پاسخ
۱	پ	۶	ت	۱۱	ت	۱۶	ت
۲	پ	۷	پ	۱۲	ب	۱۷	ب
۳	ت	۸	ت	۱۳	پ	۱۸	ت
۴	ت	۹	ب	۱۴	الف		
۵	پ	۱۰	ب	۱۵	پ		

فصل دوم							
ردیف	پاسخ	ردیف	پاسخ	ردیف	پاسخ	ردیف	پاسخ
۱	پ	۹	ت	۱۷	پ	۲۵	ب
۲	ب	۱۰	الف	۱۸	پ	۲۶	پ
۳	ت	۱۱	ت	۱۹	الف	۲۷	ب
۴	پ	۱۲	پ	۲۰	الف	۲۸	ت
۵	ب	۱۳	پ	۲۱	ت	۲۹	الف
۶	الف	۱۴	پ	۲۲	ب	۳۰	پ
۷	ب	۱۵	ت	۲۳	الف	۳۱	ب
۸	ب	۱۶	ب	۲۴	ت		

فصل سوم							
ردیف	پاسخ	ردیف	پاسخ	ردیف	پاسخ	ردیف	پاسخ
۱	ت	۶	پ	۱۱	پ	۱۶	الف
۲	ب	۷	ب	۱۲	الف		
۳	الف	۸	ت	۱۳	پ		
۴	الف	۹	ب	۱۴	ب		
۵	ت	۱۰	الف	۱۵	ب		

فصل چهارم							
ردیف	پاسخ	ردیف	پاسخ	ردیف	پاسخ	ردیف	پاسخ
۱	ت	۶	الف	۱۱	ت	۱۶	الف
۲	ت	۷	پ	۱۲	الف	۱۷	الف
۳	ب	۸	الف	۱۳	ت	۱۸	ب
۴	ت	۹	پ	۱۴	پ	۱۹	پ
۵	الف	۱۰	پ	۱۵	ب	۲۰	پ

فصل پنجم							
ردیف	پاسخ	ردیف	پاسخ	ردیف	پاسخ	ردیف	پاسخ
۱	پ	۶	ت	۱۱	پ	۱۶	ت
۲	الف	۷	ب	۱۲	پ	۱۷	ب
۳	ب	۸	ب	۱۳	پ	۱۸	ت
۴	پ	۹	پ	۱۴	پ		
۵	الف	۱۰	الف	۱۵	ب		

فصل ششم							
ردیف	پاسخ	ردیف	پاسخ	ردیف	پاسخ	ردیف	پاسخ
۱	ت	۶	ب	۱۱	ت	۱۶	ت
۲	الف	۷	پ	۱۲	ب	۱۷	پ
۳	پ	۸	ب	۱۳	ب	۱۸	ب
۴	پ	۹	ب	۱۴	پ	۱۹	ب
۵	الف	۱۰	الف	۱۵	ت	۲۰	الف
فصل هفتم							
ردیف	پاسخ	ردیف	پاسخ	ردیف	پاسخ	ردیف	پاسخ
۱	ب	۶	الف	۱۱	پ	۱۶	ب
۲	ت	۷	پ	۱۲	ب	۱۷	الف
۳	پ	۸	پ	۱۳	الف	۱۸	ب
۴	ت	۹	الف	۱۴	الف	۱۹	الف
۵	ب	۱۰	الف	۱۵	الف	۲۰	ب

پاسخنامهٔ پرسشهای چهارگزینه‌ای کلی

ردیف	پاسخ	ردیف	پاسخ	ردیف	پاسخ	ردیف	پاسخ	ردیف	پاسخ	ردیف	پاسخ
۱	ب	۱۳	پ	۲۵	پ	۳۷	ب	۴۹	ب	۶۱	الف
۲	ب	۱۴	ب	۲۶	ت	۳۸	پ	۵۰	الف	۶۲	پ
۳	ت	۱۵	ت	۲۷	پ	۳۹	پ	۵۱	پ	۶۳	الف
۴	پ	۱۶	پ	۲۸	ت	۴۰	پ	۵۲	ب	۶۴	الف
۵	الف	۱۷	پ	۲۹	ت	۴۱	پ	۵۳	پ	۶۵	ب
۶	ب	۱۸	الف	۳۰	ت	۴۲	ت	۵۴	ت		
۷	ت	۱۹	الف	۳۱	پ	۴۳	ب	۵۵	پ		
۸	ب	۲۰	ت	۳۲	پ	۴۴	پ	۵۶	ب		
۹	ت	۲۱	الف	۳۳	ت	۴۵	الف	۵۷	پ		
۱۰	ب	۲۲	ب	۳۴	ب	۴۶	ت	۵۸	ت		
۱۱	پ	۲۳	الف	۳۵	پ	۴۷	ب	۵۹	پ		
۱۲	ب	۲۴	الف	۳۶	الف	۴۸	ت	۶۰	پ		

فرهنگ اصطلاحات

آینه (Mirror)

سطحی صیقلی است که بخش بیشتر نوری را که به آن می‌تابد به طور منظم بازتابیده می‌کند.

آینهٔ کاو یا مقعر (Concave mirror)

آینه‌ای است که سطح بازتاب‌کنندهٔ آن کاو باشد. اگر این سطح بخشی از یک کره باشد آن را آینهٔ کروی کاو می‌نامند.

آینهٔ کوژ یا محدب (Convex mirror)

آینه‌ای است که طرف کوژ آن، بازتاب‌کننده باشد.

اپتیک (Optics)

علم نورشناسی است و آن شاخه‌ای از فیزیک است که به مطالعه، تولید، انتشار، اندازه‌گیری و خواص نور می‌پردازد.

انتشار راست خط نور (Rectilinear propagation of light)

با تقریب درجه اول، نور به خط راست سیر می‌کند. این موضوع را می‌توان با تشکیل سایه و نیم‌سایه و بعضی دیگر از تجربه‌های روزانه توجیه کرد.

بازتاب کلی (Total internal reflection)

هرگاه زاویهٔ تابش نوری که به سطح محیط رقیقتری می‌رسد از حد مشخصی (زاویهٔ حد) بزرگتر باشد، نور به محیط رقیقتر وارد نمی‌شود و از سطح جدایی دو محیط بازتاب می‌کند. این پدیده را بازتاب کلی می‌نامند.

بازتاب نور (Reflection of light)

بازگشت نور از سطح جداکنندهٔ دو محیط را بازتاب نور گویند.

بزرگنمایی (Magnification)

نسبت طول تصویر نهایی یک شیء که توسط یک دستگاه نوری تشکیل می‌شود به طول شیء است.

پاشندگی نور (Dispersion of light)
جدا شدن نورهای ساده از یکدیگر در یک دسته یا باریکه نور را در یک محیط پاشنده یعنی محیطی که ضریب شکست در آن تابع طول موج باشد، پاشندگی نور گویند.

تابش (Radiation)
فرایندی که توسط آن انرژی به صورت امواج الکترومغناطیسی گسیل می‌شود.

تابش ساده (Simple radiation)
تابشی است که تجزیه نشود و یک بسامد داشته باشد. برای نور، اصطلاح تکرنگ یا تکفام به همین معنی است.

تار نوری (Optical fiber)
مادهٔ نازک دراز و قابل انعطافی که به دلیل بازتابهای داخلی کلی نور را از خود عبور می‌دهد. از این تارها به صورت دسته‌هایی برای انتقال صدا و اطلاعات و نیز دیدن اعضای داخلی بدن توسط پزشک استفاده می‌شود.

تصویر (Image)
تصویر یک نقطه از جسم، محل برخورد یک دسته پرتو همگرا (تصویر حقیقی) یا یک دسته پرتو واگرا (تصویر مجازی) است که دسته پرتو گسیل شده از یک نقطهٔ جسم بر اثر بازتاب یا شکست توسط یک دستگاه نوری تشکیل می‌دهد. تصویر جسم عبارت است از تصویر مجموعهٔ نقاط آن جسم.

تطابق (Accommodation)
تغییر کانون عدسی چشم است که بر اثر آن کوژی عدسی چشم تغییر می‌کند و در نتیجه تصویر اجسام دور یا نزدیک روی شبکیه تشکیل می‌شود.

جذب تابش (Absorption of radiation)
هنگام تابش نور به سطح یک جسم، قسمتی از انرژی تابشی جذب می‌شود. سطح سیاه کدر بیشترین و سطح شفاف صیقلی کمترین مقدار انرژی تابشی را جذب می‌کنند.

چشمهٔ نور (Light source)
چشمهٔ انرژی درخششی نظیر خورشید، لامپ التهابی و لامپ فلورسنت.

درشتنمایی (Magnifying power)
نسبت قطر ظاهری تصویر نهایی که توسط یک دستگاه نوری تشکیل می‌شود به قطر ظاهری شیئی که توسط چشم غیرمسلح دیده می‌شود.

دسته پرتو موازی (Parallel beam of light)
مجموعه‌ای از پرتوهای موازی نور. هر گاه در مسیر این دسته پرتو پرده‌ای قرار دهیم، لکه‌ای بر پرده

تشکیل می‌شود. اگر پرده را موازی با خودش جابه‌جا کنیم ابعاد لکه تغییر نمی‌کند.

دوام بینایی (persistence of vision)
تصویر ایجاد شده روی شبکیه حتی پس از دور کردن جسم از مقابل چشم جزئی از ثانیه بر شبکیه باقی می‌ماند و دیده می‌شود.

ذره‌بین (Simple microscope; Magnifying glass)
عدسی کوژی است که با آن از جسم ریز می‌توان تصویر بزرگی تهیه کرد.

رنگ (Color)
نتیجه تأثیری است که دستگاه بینایی نسبت به پرتوهای نور از خود نشان می‌دهد.

رنگدانه (Pigment)
ماده‌ای که موجب رنگین شدن اندامها یا اجزای گیاهان و جانوران می‌شود. مانند سبزینه و هموگلوبین.

رنگهای اصلی (Primary colors)
سه رنگ آبی، سبز و قرمز که از ترکیب آنها به نسبتهای متفاوت می‌توان همه رنگها را تولید کرد.

رنگهای مکمل (Complementary colors)
هر کدام از دو رنگ طیف که وقتی با هم ترکیب شوند نور سفید یا تقریباً سفید تولید کنند.

رنگین کمان (Rainbow)
طیف پیوسته‌ای است که بر اثر تجزیهٔ نور خورشید به وسیلهٔ قطره‌های آب موجود در هوا تشکیل می‌شود.

زاویهٔ انحراف (Deviation)
زاویهٔ بین پرتو تابش و پرتو شکسته در یک سطح جدایی را زاویهٔ انحراف گویند. این زاویه به سرعت نور در دو محیط شفاف مجاور و در نتیجه ضریب شکست نور بستگی دارد.

زاویهٔ تابش (Angle of incidence)
زاویه‌ای که پرتو تابش با خط عمود بر سطح در نقطهٔ تابش می‌سازد.

زاویه حد (Critical angle)
کمترین زاویهٔ تابشی است که به‌ازای آن بازتاب کلی حاصل می‌شود.

زاویهٔ شکست (Angle of refraction)
زاویهٔ بین پرتو شکست و خط عمود بر سطح جدایی در نقطهٔ شکست است.

سرعت نور (Speed of light)
سرعت انتشار امواج الکترومغناطیسی در خلأ است. این سرعت یک ثابت جهانی است و با تقریب برابر ۳×۱۰^{۸} متر بر ثانیه است.

سطح سوزان (Caustic curve)
پرتوهای نور موازی وارد بر یک آینهٔ کروی کاو یا کوژ، در کانون جمع نمی‌شوند، بلکه روی یک منحنی به نام سطح سوزان که رأس آن در کانون آینه است بیشترین تمرکز را می‌یابند.

شدت روشنایی (Luminous intensity)
مقدار نوری است که در یک ثانیه در داخل واحد زاویهٔ فضایی به وسیلهٔ یک چشمهٔ نقطه‌ای شکل در امتداد معینی منتشر می‌شود و واحد آن شمع است.

شکست نور (Refraction of light)
وقتی یک پرتو نور از محیطی به محیط دیگر وارد شود، در سطح جدایی دو محیط امتداد پرتو تغییر می‌کند. این رفتار نور را شکست نور گویند. وقتی نور به محیط غلیظ وارد شود به خط عمود نزدیک و اگر به محیط رقیق وارد شود از خط عمود دور می‌شود.

ضریب شکست (refractive index)
ضریب شکست یک محیط عبارت است از نسبت سرعت نور در خلأ، به سرعت نور در آن محیط.

طیف‌نما یا بیناب‌نما(Spectroscope)
دستگاهی است که برای تجزیهٔ نور و مشاهدهٔ طیف آن به کار می‌رود.

فاصلهٔ کانونی (Focal length)
فاصلهٔ مرکز نوری یک عدسی یا آینهٔ کروی از کانون اصلی آن است.

کاندلا (Candela)
واحد شدت چشمهٔ نور است و آن شدت نوری است که از $\frac{۱}{۶۰}$ سانتیمتر مربع پلاتین در دمای التهاب ۲۰۴۶K تابش می‌شود.

منشور (Prism)
منشور محیط شفافی است که بین دو سطح متقاطع قرار گرفته است. منشور را بیشتر با قاعدهٔ مثلثی شکل می‌سازند. معمولاً برای نور مرئی از منشور شیشه‌ای و برای نور فرابنفش و فروسرخ از منشورهای کوارتز استفاده می‌کنند.

نظریهٔ کوانتومی (Quantum theory)
نظریه‌ای که با بیان مفهوم ناپیوستگی انرژی در فیزیک، توسط پلانک رشد کرد. مجموعه‌ای که نام «مکانیک کوانتومی» به خود گرفته است از درون این نظریه برخاست و در خلال نیمهٔ اول قرن بیستم شکل گرفت.

نقطهٔ زرد (Yellow spot)
بخشی از شبکیه که نسبت به نور حساسیت زیاد دارد. سلولهای مخروطی در این بخش از شبکیه فراوان‌اند. این نقطه در وسط شبکیه و در امتداد محور نوری چشم قرار دارد. وقتی جسمی کاملاً تشخیص داده می‌شود که تصویر آن روی این بخش چشم تشکیل شود.

فهرست منابع

در تألیف این کتاب از منابع زیر استفاده شده است:

۱. بیوکی، فردریک، فیزیک، ترجمهٔ محمد ابراهیم ابوکاظمی، مرکز نشردانشگاهی، ۱۳۷۵.

۲. آجوی گاتاک، نورشناسی، ترجمهٔ ناصر مقبلی، مهرانگیز طالب‌زاده، انتشارات فاطمی، ۱۳۷۰.

۳. نور و فیزیک مدرن، ترجمهٔ فضل‌الله فروتن، نشر علوم دانشگاهی، ۱۳۷۸.

۴. لندسبرگ، گ.س.، دورهٔ درسی فیزیک، ترجمهٔ لطیف کاشیگر، ناصر مقبلی، مهرانگیز طالب‌زاده، جلد ۳، انتشارات فاطمی، ۱۳۷۵.

۵. معتمدی، اسفندیار، نور هندسی، انتشارات فاطمی، ۱۳۷۸.

۶. پورقاضی، اعظم و همکاران، فیزیک سال اول دبیرستان (نظام جدید)، وزارت آموزش و پرورش، ۱۳۸۰.

۷. قلمسیاه، ابوالقاسم و عرب اف، محمود، فیزیک سال دوم دبیرستان (نظام قدیم)، وزارت آموزش و پرورش، ۱۳۸۰.

۸. گلستانیان، نعمت‌الله، فیزیک (۱)، انتشارات مبتکران، ۱۳۷۹.

۹. تام دانکن، فیزیک رهگشای امروز و فردا، ترجمهٔ ژیلا اصغری، ۱۳۷۴.

10. Physics, Raymond and A.Serway, Saunders, 1990.

11. College Physics, Serway and Faughn, Saunders, College Publishing, 2000 version.

12. Physics for Scientists and Engineers, Douglas C.Giancoli, Prentice-Hall international Edition, 1988.

13. Physics, Janes & Childers, Mc-Graw Hill, 1999.

نمایه

کتابهای
موضوعی
فیزیک

نور، صورتی از انرژی است که بر چشم اثر می کند و سبب روشنایی و دیدن چیزها می‌شود. بدون نور جهان تاریک است، گیاهی نمی‌روید و جانوری نمی‌زید. کتاب **نورشناسی هندسی** دربرگیرندهٔ مفاهیم مبحث نور است که معمولاً در برنامهٔ آموزش فیزیک دبیرستان و پیش‌دانشگاهی برای رشته‌های علوم تجربی و ریاضی-فیزیک گنجانده شده است.

این کتاب شامل هفت فصل است. هر فصل از متن درس، پرسشهای تشریحی، پرسشهای چهارگزینه‌ای و تمرینها و پاسخها تشکیل شده است و دانش‌آموزان عزیز را برای درک و فهم مطالب و کسب مهارتهای لازم برای موفقیت در امتحانات آخر سال و المپیادها و کنکور ورودی دانشگاهها یاری می‌دهد.

شابک ۱-۳۴۹-۳۱۸-۹۶۴
ISBN 964-318-349-1

بها ۱۷۰۰ تومان